

Le Patrimoine génétique

Plan du travail

Introduction.

Chapitre01 : Quelques notions essentielles.

1- Définition du patrimoine génétique

*Définition01

*Définition02

*Définition03

2- Quelques notions.

Chapitre02 : Transmission du **patrimoine génétique**.

1- L'hérédité de Mendel.

2- Mitose et Méiose.

3- La théorie chromosomique.

4- Génétique actuelle.

→ Transcription et traduction.

→ Crossing-over.

→ La Ploïdie. L'écotype.

5- La diversité génétique dans le monde végétal.

Chapitre03 : Amélioration et conservation du **patrimoine génétique**.

1- Techniques

→ Culture In-vitro.

→ Doublement des chromosomes.

→ Fusion de protoplastes.

→ Stérilité mâle.

→ Les OGM.

2- Conservation du **patrimoine génétique**.

Exemples :

Arbres forestiers.

Introduction

L'information génétique est transférée des parents aux descendants grâce à une répllication fidèle des molécules d'ADN parentales.

Le matériel génétique doit posséder les propriétés suivantes :

Il doit être capable de stocker l'information génétique et de transmettre cette information à la cellule en fonction des besoins de celle-ci.

Il doit être posséder une grande stabilité physique et chimique pour éviter la perte de l'information génétique.

Il doit être capable de transférer son information aux cellules filles avec le maximum d'erreur.

La diversité entre individus d'une espèce ou d'une population peut provenir de leur diversité génétique mais aussi de la diversité de milieux au sein desquels s'expriment les gènes.

L'étude de la diversité génétique des individus au sein d'une population suppose qu'elle se traduise par une diversité phénotypique perceptible, au niveau morphologique ou à tout autre niveau physiologique, cellulaire ou biochimique.

Pour tout gène, la diversité génétique d'une population est appréhendée par sa composition génétique. Celle-ci définit à trois niveau, celui des phénotypes, avec les fréquences phénotypique, celui des génotypes, avec les fréquences génotypiques, celui des allèles du gène, avec les fréquences allyliques.

L'étude de la diversité génétique conduit à l'estimation de deux paramètres : le degré de polymorphisme et le degré d'hétérozygotie.

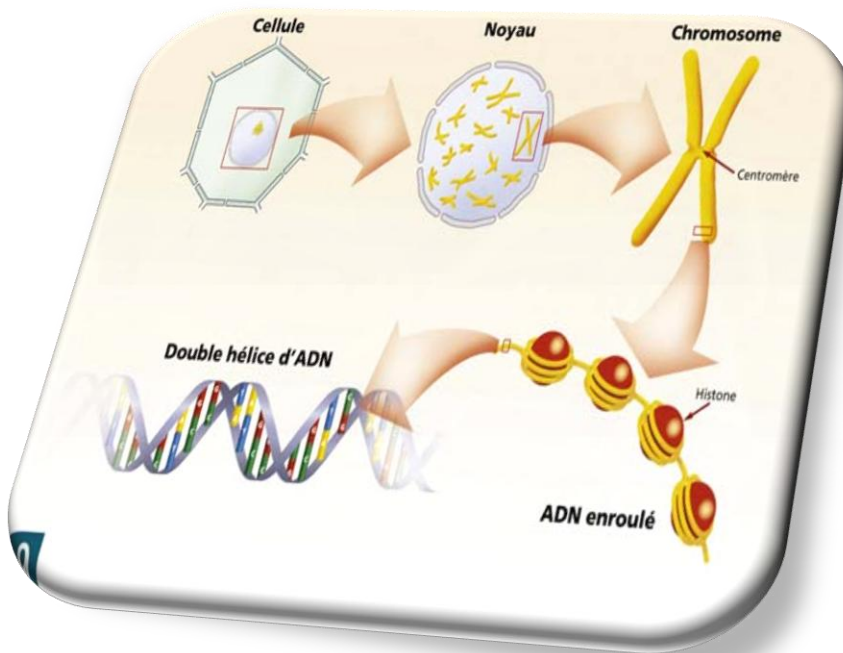
La place de la génétique dans la biologie rend son enseignement incontournable dès le secondaire .Cependant cet enseignement est confronté à des nombreuses difficultés pédagogiques, dont la simple définition du gène n'est pas la moindre.

L'importance de la génétique provient de sa capacité à unifier des domaines de la biologie apparemment éloignés comme l'embryologie, ou de permettre une détection causale, cellulaire, voire moléculaire, ou des phénomènes globaux.

De l'efficacité de la génétique dans la recherche fondamentale, il résulte obligatoirement des applications dans l'agronomie, l'environnement, la médecine, bientôt l'industrie.



CHAPITRE 01 QUELQUES NOTIONS ESSENTIELLES.



1. Définition du Patrimoine génétique:

Définition 01: (Encarta dictionnaire)

Patrimoine génétique locution nominale - masculin ((patrimoines génétiques).

BIOLOGIE ensemble des caractères contenus dans les gènes d'une cellule ou d'un individu

Synonyme: génotype

Synonyme: génome

Ex : la transmission du patrimoine génétique à la descendance.

définition02 : (wikipédia)

On désigne par patrimoine génétique l'ensemble du génome d'une personne, c'est-à-dire les différents allèles des gènes que possède cet individu et qui lui sont propres.

Le patrimoine génétique se transmet génétiquement de génération en génération selon le type de reproduction de l'organisme.

Définition³ : (Bernard Roman-Amat-web site)

Le **patrimoine génétique** d'une espèce correspond à la totalité des gènes présents sur l'ensemble des chromosomes caractéristiques de cette espèce.

Cette définition est celle qui vaut à la notion de patrimoine génétique sensu stricto. Dans la réalité, la notion de patrimoine génétique est généralement étendue et recouvre la totalité des espèces vivantes sur un écosystème donné, c'est-à-dire devient synonyme de biodiversité ; Dans cette acceptation, la notion de patrimoine génétique planétaire est synonyme de biodiversité globale.

De nos jours les menaces qui pèsent sur la biodiversité ou sur le patrimoine génétique mondial sont à la fois nombreuses, multiformes et extrêmement préoccupantes.

L'appauvrissement du patrimoine génétique touche certainement les espèces animales domestiques et les espèces végétales cultivées. On sait que des centaines de variétés d'animaux domestiques et des milliers de cultivars végétaux ont disparu irrémédiablement. Sur les milliers d'espèces de pommes qui existaient encore il y a une cinquantaine d'années, en France, une seule a été conservée pour la production massive des pommes consommées aujourd'hui. Avec trois autres espèces américaines, cette pomme française assure 95 % de la production. Des exemples montreraient que des centaines de cultivars de riz ont disparu, en Asie, en quelques dizaines d'années seulement et au profit, quasi exclusif, d'un riz basmati. D'autres exemples montreraient qu'aujourd'hui, rien qu'en France, plus de 150 races bovines sont menacées de disparition, ou ont déjà disparu, au seul profit de 6 ou 7 races, " industriellement rentables ".

Pire, l'appauvrissement génétique est surtout lié à la disparition des espèces sauvages. On n'a probablement répertorié qu'à peine la moitié des espèces vivant sur notre planète. Or, on sait qu'un nombre considérable de ces espèces auront disparu avant d'être décrites.

Depuis une vingtaine d'années, l'appropriation des patrimoines génétiques, par des industriels, par des groupes financiers, et pourquoi pas, bientôt par des gouvernements, devrait nous inquiéter.

2. Quelques notions :¹

1. Ambiguïté du terme caractère :

Le terme caractère est ambigu car il recouvre chez Mendel trois concepts différents mais interdépendants, au aujourd'hui précisés par trois termes différents, le caractère proprement dite, le phénotype et l'allèle.

¹ Petit glossaire OGM - Quelques définitions (INRA) Institut National de la Recherche Agronomique 2000.

1.1. Le caractère :

C'est un aspect ou une propriété biologique, un phénomène dont on peut étudier le déterminisme génétique à travers les modalités de sa transmission.

Cette propriété, ou caractère héréditaire, peut être, la couleur des fleurs chez le pois, la couleur du pelage chez le chat, etc.

Caractères acquis et caractères héréditaires :

Les caractères qui permettent d'identifier un individu peuvent être schématiquement se diviser en deux groupes :

Caractères acquis ou somation :

Ses caractères apparaissent sous l'influence du milieu (climat, nutrition, habitude). Ils ne se transmettent pas à la descendance. Ils n'affectent que le corps de l'individu et pas les cellules germinales. Ce sont des somations. (de soma= corps). Comme exemple la réduction des feuilles chez les végétaux des climats chauds. (Institut pédagogique national, 1984).

Les caractères héréditaires :

Schématiquement ils peuvent être classés en trois groupes :

- caractères spécifiques.
- caractères raciaux.
- caractères individuels.

La génétique ne peut étudier que la transmission des caractères raciaux et individuels puisque le croisement interspécifique sont stériles ou produisent des êtres inféconds.

Caractères raciaux :

Une mutation, peut être, si on la sélectionne le point de départ d'un nouveau type héréditaire (=lignée pure) dans l'espèce et constituer une variété. Chez les espèces végétales cultivées, beaucoup de mutations n'ont pas d'intérêt économique car les déformations qu'elles provoquent rendent les mutants fragiles, peu viables, par contre, une mutation utile qui entraîne chez un individu un caractère avantageux par rapport à ses parents.

1.2. Le phénotype :

Est l'une des formes possibles du caractère puisque l'analyse génétique d'un caractère suppose qu'il se présente au moins sous deux formes ou phénotypes possibles, par exemple le phénotype pourpre et le phénotype blanc (on ne devrait donc plus dire le caractère pourpre ou le caractère blanc).

Donc c'est l'Ensemble des caractères observables chez un individu, résultant de l'interaction entre son génotype et les effets de son environnement.

1.3. L'Allèle :

Est une des formes possibles d'un gène impliqué dans le déterminisme du caractère étudié (c'est le facteur causale mendélien, aussi appelé caractère par Mendel).

Des gènes allèles sont des gènes qui codent pour le même caractère mais qui sont différents.

1.3.1 Gène dominant : Un gène est dominant si sa présence en un seul exemplaire dans un organisme diploïde suffit pour que le phénotype associé s'exprime.

1.3.2 Gène récessif: Un gène est récessif s'il faut la présence en double exemplaire de ce gène pour que le phénotype associé s'exprime.

Le génotype :

Pour un gène, est constituée de l'ensemble des allèles de ce gène présents dans la cellule ou l'organisme, un chez les haploïdes, deux chez diploïdes, etc.

Donc c'est l'Ensemble des caractères génétiques d'un individu dont l'expression différentielle est visible dans le phénotype.

2. La définition du gène :

2.1 L'unité de ségrégation :

C'est la première définition du gène. Le gène est défini par un couple de facteurs déterministes, appelés allèles, qui ségrégent à la méiose et rendent compte des modalités de la transmission des différentes formes du caractère étudié (par exemple la couleur de la fleur).appelées phénotypes.

Les souches pures sont homozygotes pour chacun des deux allèles du gène impliqué dans la détermination du caractère étudié et présentent deux phénotypes différents pour ce caractère.

Après croisement de ces souches pures, l'hybride obtenu est hétérozygote pour ce gène.

2.2 Le gène ne peut être défini par son support :

Unité de transmission héréditaire de l'information génétique. Un gène est un segment d'ADN qui comprend la séquence codant une protéine ainsi que les séquences qui en permettent et régulent l'expression.

2.3 La polyallélie :

L'assimilation du concept de gène à celui de caractère mendélien alternatif était simpliste car elle supposait qu'un gène ne pouvait n'exister que sous deux états alléliques.

La difficulté d'interprétation de certains résultats a vite conduit les généticiens au concept de polyallélie. Cependant, pour la plupart des organismes sont diploïdes, seuls deux allèles différents, d'un même gène, sont présents chez un hétérozygote.

3. Génome : Ensemble des gènes d'un organisme, présent dans chacune de ses cellules.

4. ADN (acide désoxyribonucléique) : Constituant essentiel des chromosomes, support moléculaire de l'information génétique. Le contenu de cette information est le message codé dont le décryptage conduit à la synthèse de toutes les protéines de l'organisme. La molécule d'ADN est composée de deux brins en double hélice, constitués chacun d'un enchaînement de nucléotides.

5. ARN (acide ribonucléique) messager : Molécule correspondant à la copie de la séquence codante d'une portion d'ADN. Elle assure le passage de l'information génétique dans le cytoplasme de la cellule où a lieu la synthèse des protéines.

6. Bactérie : Les bactéries sont des microorganismes unicellulaires à structure simple. Leur chromosome est constitué d'une molécule d'ADN circulaire. Il y a des quantités de bactéries différentes dans l'eau, l'air, le sol, les organismes vivants, l'environnement. Certaines ont un caractère pathogène.

7. Base (base azotée) : L'ADN et l'ARN comportent chacun 4 bases différentes (dont 3 leurs sont communes). C'est la capacité des bases à s'apparier chacune avec sa base complémentaire qui donne à l'ADN ses caractéristiques essentielles : capacité de duplication (ou réplication) et synthèse d'ARN messager à partir d'un brin d'ADN (transcription).

8. Brassage génétique : La reproduction sexuée, grâce à la méiose et à la fécondation, réalise à chaque génération de nouveaux arrangements du matériel génétique. C'est pourquoi les enfants sont différents des parents. Chaque gène, dans une espèce donnée, existe sous différentes formes, appelées allèles, dues à de petites variations de l'information génétique. Un individu donné possède pour chacun de ses gènes une combinaison de deux allèles, chaque chromosome étant représenté deux fois : ces chromosomes sont appelés homologues. Par exemple, chez le blé dur le nombre de chromosomes différents est de 24. Le nombre de chromosomes portés par chaque cellule est donc de $24 \times 2 = 46$. Après la méiose, chaque gamète (ovule ou pollen) ne possède qu'un seul représentant de chaque paire, le nombre de combinaisons possibles à partir de 24 paires de chromosomes est donc gigantesque. De plus, au moment de la méiose, les chromosomes homologues réalisent des *crossing-over*, c'est-à-dire des échanges réciproques de matériel génétique. De cette manière, les gènes portés par un même chromosome ne sont pas définitivement liés. Il y a donc deux composantes dans le brassage génétique, le processus générant la combinaison particulière des chromosomes de chaque gamète, et les *crossing-over*. Ceci se produit pour la formation des ovules et des pollens. Lors de la fécondation, les deux garnitures chromosomiques originales s'additionnent pour constituer un individu nouveau.

9. Les cellules : Elles sont les unités de base des êtres vivants. Certains organismes, comme les bactéries, ne sont constitués que d'une seule cellule.

Les cellules sont toutes constituées à partir de quatre matériaux organiques de base : les glucides, les lipides, les protéines et les acides nucléiques (ADN et ARN). On distingue deux types de cellules :

- les cellules somatiques qui constituent l'ensemble de l'organisme d'un être vivant;
- les cellules germinales qui vont donner les futures cellules reproductrices.

10. Chromosome : Unité physique de matériel génétique correspondant à une molécule continue d'ADN associée à des protéines spécifiques. Les cellules possédant un noyau individualisé (cellules eucaryotes) comportent plusieurs chromosomes, les cellules bactériennes n'en comportent qu'un.

Les chromosomes étant en règle générale présents par paires, chaque gène existe en deux exemplaires, ou allèles, identiques (on dit dans ce cas que l'individu est homozygote) ou différents (individu hétérozygote). Dans le cas d'un hétérozygote, un allèle est dit dominant si son expression est visible au niveau du phénotype. Par opposition, l'allèle dont on ne peut observer l'expression est dit récessif. Le caractère codé par un allèle récessif ne devient apparent que chez un individu homozygote pour cet allèle. Deux allèles capables chacun d'un certain degré d'expression et ne présentant aucune prédominance l'un par rapport à l'autre sont dits codominances (ce type d'allèle est souvent impliqué dans des caractères complexes comme la couleur des yeux ou la taille).

11. Code génétique : Code de correspondance entre les acides nucléiques (ADN et ARN) et les protéines, qui fait correspondre un triplet (cussession ordonnée de trois bases) à un acide aminé. Ce code est universel, c'est-à-dire commun à tous les êtres vivants, à quelques exceptions près, facilement explicables.

12. Crossing-over : Echange réciproque de matériel génétique entre deux chromosomes homologues au cours de la méiose.

13. Enzyme : Protéine catalysant (qui accélère) une réaction chimique. Les enzymes sont indispensables à la réalisation de la plupart des réactions chimiques dans la cellule. Chacune à une activité spécifique : inhiber, déclencher ou accélérer une réaction, couper ou lier des molécules particulières...

14. Génie génétique : Ensemble des techniques permettant d'introduire dans une cellule un gène qu'elle ne possède pas, ou de modifier l'expression d'un gène déjà présent dans les cellules d'un organisme.

15. Méiose : Mécanisme de division cellulaire spécifique à la formation des cellules sexuelles appelées gamètes (chez les animaux, l'ovule est le gamète femelle et le spermatozoïde est le gamète mâle). Au cours de la méiose, les cellules mères à deux lots de chromosomes homologues (on dit $2n$ chromosomes), se divisent deux fois pour donner quatre cellules filles à n chromosomes.

16. Mutation : Modification affectant l'ADN. Les mutations spontanées sont à l'origine de la nouveauté génétique des êtres vivants au cours de l'évolution.

17. Nucléotide : Constituant élémentaire de l'ADN et de l'ARN, composé d'un sucre (désoxyribose ou ribose) d'un phosphate et d'une base azotée.

18. OGM : (Organisme génétiquement modifié) Organisme dont le génome a été modifié par génie génétique. Les cellules reproductrices de l'organisme possèdent la modification qui est donc transmissible à la descendance.

19. Transgène : Gène introduit, par génie génétique, dans le génome d'un organisme.

20. Transgénèse : Modification du génome d'un organisme par génie génétique.

21. Diploïde: Les organismes ou cellules diploïdes ($2n$) contiennent des chromosomes en doubles exemplaires.

Chacun de ces chromosomes est une copie d'un chromosome qui était contenu dans l'un des deux gamètes qui lui a donné naissance.

22. Haploïde: Les cellules haploïdes contiennent des chromosomes en un seul exemplaire. Les gamètes des organismes diploïdes sont haploïdes. La réduction du nombre de chromosome s'effectue durant la méiose.

23. Souche pure : Les souches pures (pour un ou quelques caractères) sont obtenues par sélection à partir de croisement sur de nombreuses générations. Lorsqu'on effectue des croisements entre des individus d'une souche pure pour un caractère celui-ci apparaît de manière identique à chaque génération.

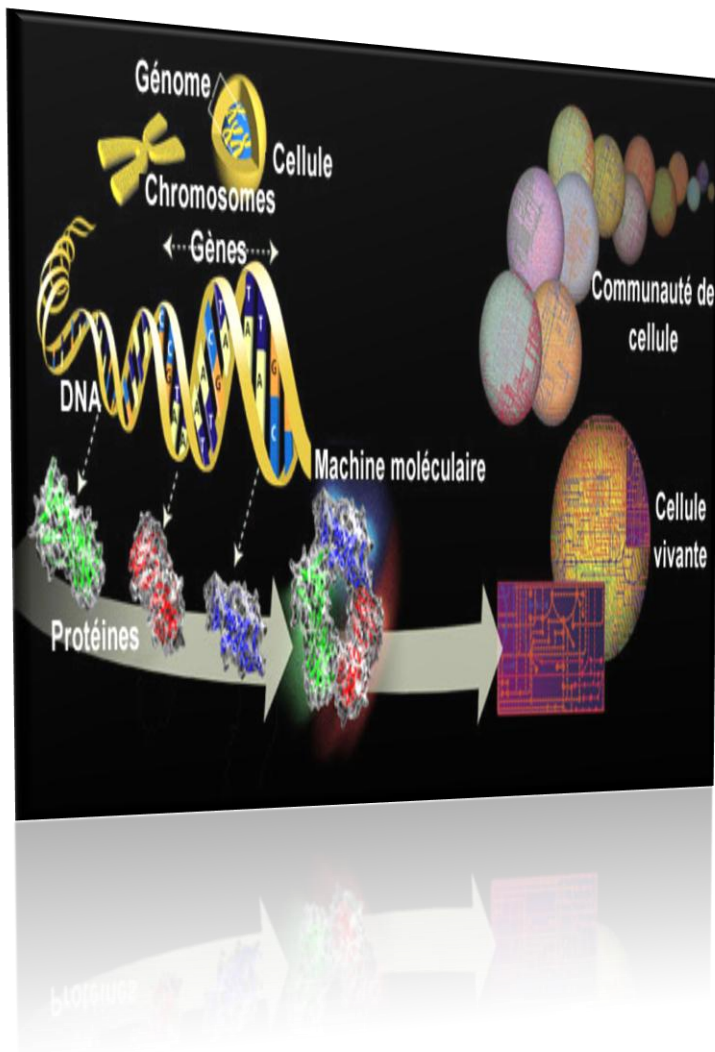
Bien que l'humanité a été observée depuis très longtemps la transmission de caractères héréditaires à travers les générations, c'est le moine et biologiste Grégoire Mendel qui en réalisa la première étude scientifique vers 1865.

Mendel réalisa la plupart de ses expériences en se servant du pois. Il croisa des individus et étudia la répartition d'un ou de quelques caractères dans la descendance. Le caractère distinctif était par exemple la forme de l'enveloppe du pois : lisse (L) ou ridée (R).

L'analyse et l'interprétation statistique de la répartition des gènes dans des croisements de ce type constituent les fondements de la génétique classique.



CHAPITRE 02 TRANSMISSION DU PATRIMOINE GÉNÉTIQUE



→ CONCEPTS-CLES

➤ Les gènes sont des segments de CHROMOSOMES.

➤ La MITOSE est la DIVISION nucléaire qui produit deux noyaux identiques contenant chacun le même matériel génétique que le noyau de départ.

➤ La méiose est la division nucléaire au cours de laquelle une cellule germinale contenant deux jeux complets de chromosomes est divisée en quatre produits méiotiques (gamètes) dont chacun ne contient plus qu'un jeu de chromosomes.

➤ Les lois de Mendel de ségrégation égale des allèles et d'assortiment indépendant se fondent sur la disjonction des homologues de chaque paire de chromosomes et sur le comportement indépendant de chaque paire vis-à-vis des autres lors de la méiose.

➤ La transmission des gènes portés par les chromosomes sexuels se caractérise par des rapports phénotypiques particuliers liés au sexe.

Introduction

Bien que l'humanité a été observée depuis très longtemps la transmission de caractères héréditaires à travers les générations, c'est le biologiste Grégoire Mendel qui en réalisa la première étude scientifique vers 1865.

Mendel réalisa la plupart de ses expériences en se servant du pois. Il croisa des individus et étudia la répartition d'un ou de quelques caractères dans la descendance. Le caractère distinctif était par exemple la forme de l'enveloppe du pois : lisse (L) ou ridée (R).

L'analyse et l'interprétation statistique de la répartition des gènes dans des croisements de ce type constituent les fondements de la génétique classique.

1. Hérité de Mendel

Monohybridisme :

Le croisement de deux lignées pures qui ne diffèrent entre elles que par un seul caractère c'est le cas de monohybridisme.

Une expérience de Mendel :

Notions préliminaires :

Mendel utilise deux lignées pures qui ne diffèrent entre elles que par un seul caractère ; la première lignée produit toujours des graines lisses, la seconde produit toujours des graines ridées.

Cette différence d'aspect est en rapport avec la nature chimique des réserves glucidiques contenues dans les cotylédons. Dans la première les réserves glucidiques sont constituées principalement de l'amidon, dans la seconde des sucres. Lors de la maturation les graines dont les réserves sont essentiellement de l'amidon perdent moins d'eau que celles dont les réserves sont des sucres solubles. Les cotylédons de la première lignée restent lisse, ceux de la seconde lignée se rident.

Chez le pois, il ya pollinisation directe puis autofécondation, le pollen d'une fleur se dépose sur le stigmate de la même fleur, les étamines mûrissent très tôt et la pollinisation se produit avant l'épanouissement de la fleur. Les deux gamètes qui s'unissent proviennent de la même fleur.

Mendel constate que dans ces conditions d'autofécondation, les graines lisses donnent toujours naissance à des pieds produisant eux-mêmes, des graines lisses et que le même phénomène se produit avec des graines ridées. On dit que les deux lignées sont pures pour l'aspect de la graine puisqu'elles donnent des graines identiques d'une génération à l'autre.

Première étape de l'expérience :

a- La réalisation :

Mendel croise les deux lignées pures de pois. Il réalise une pollinisation artificielle croisée. Le sens de la pollinisation est sans importance. Au moment de la floraison il sectionne les étamines d'une lignée avant leur maturation et il dépose sur les

stigmates le pollen mûr des fleurs de l'autre lignée. il laisse mûrir les gousses issues de cette fécondation et récolte les graines.

b- Les résultats :

Toutes les graines résultent de cette fécondation et qui sont des hybrides constituent la génération fille F_1 . Elles présentent toute un aspect lisse c'est-à-dire le caractère de l'un des parents. Le caractère ridé de l'autre parent semble avoir disparu.

c- Conclusion :

Toutes les hybrides de la génération F_1 se ressemblent entre eux (c'est la première loi de Mendel) et sont semblables à l'un des parent.

Deuxième étape de l'expérience :

a. la réalisation :

Mendel sème les graines lisses hybrides de la génération F_1 . L'autofécondation naturelle se produit dans les fleurs des plantes qui résultent de la germination de ces graines.

b. Les résultats :

Les graines de la récolte constituent la génération fille F_2 . A la surprise de Mendel cette génération comporte un mélange de graines lisses et des graines ridées. Mendel travaillant sur 253 pieds issus des pois hybrides de la F_1 récolte 7324 graines réparties de la façon suivante :

- a. 5474 graines lisses.
- b. 1850 graines ridées.

c. Conclusion :

Le caractère ridé réapparaît dans la génération F_2 . Il était présent mais caché par le caractère lisse dans la génération F_1 . On dit que le caractère lisse est dominant, le caractère ridé récessif.

Le rapport entre les deux nombres est 12,96 ce qui correspond à 3 graines lisses pour 1 graine ridée soit $\frac{3}{4}$ de graines lisses pour $\frac{1}{4}$ de graines ridées.

La génération F_2 qui comporte des individus variés est dite polymorphe.

Troisième étape de l'expérience :

a. La réalisation :

Mendel sème toutes les graines de la génération F_2 et laisse l'autofécondation naturelle se produire.

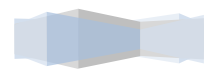
b. Les résultats :

Les graines issues de ces pieds constituent la génération fille F_3 . Les graines ridées donnent des pieds de pois produisant uniquement des graines ridées.

- un tiers des graines lisses donnent des pieds de pois produisant uniquement des graines lisses.
- Les deux autres tiers de graines lisses produisent des pieds de pois sur lequel on récolte des graines lisses et des graines ridées dans la proportion de 3 pour 1 soit $\frac{3}{4}$ de graines lisses et $\frac{1}{4}$ de graines ridées.

c. Conclusion :

Les graines ridées sont de lignée pure.



Les graines lisses ne sont pas de toute lignée pure : un tiers est de lignée pure, les deux autres tiers sont des hybrides.

La génération F_2 comporte donc :

- 1/4 de pois à graines lisses, de lignée pure, de type parentale.
- 1/4 de pois à graines ridées, de lignée pure, de type parentale.
- 1/2 de pois à graines lisses, de type hybride comme à la génération F_1 .

d- interprétation des résultats :

S'il on admet, comme Mendel, que les caractères lisse et ridé transmis par les gamètes de l'ovule et de pollen sont conditionné par un facteur lisse et un facteur ridé présent dans ces gamètes, on comprend facilement ces résultats. Représentons ces caractères par des lettres L (en majuscule) pour le caractère dominant lisse, r (lettre minuscule) pour le caractère récessif ridé.

Les deux facteurs L et r coexistent chez les hybrides de premier génération dont la formule factorielle concernant ces caractères peut s'exprimer par Lr ; le facteur L dominant le facteur r toutes les graines hybrides des F_1 sont semblable c'est-à-dire lisses.

Mendel pense qu'à la formation des gamètes, les facteurs L et r réunis chez les hybrides se séparent, un gamète ne pouvant contenir que l'un des facteurs soit L soit r : chaque gamète est pur, c'est la deuxième loi de Mendel : (=loi de pureté des gamètes).

Les hybrides produisent autant de gamètes porteurs du facteur lisse que les gamètes porteurs du facteur ridé. ai cours de la fécondation un grain de pollen porteur par exemple du facteur L a donc les mêmes chances de féconder un ovule L ou un ovule r. Il y a ainsi quatre combinaisons possibles que nous voyons dans le tableau ci-joint.

P	L	r
o		
L	LL	Lr
r	rL	rr

D'après ce tableau nous voyons que :

Sur ces quatre combinaisons, deux formules factorielles sont équivalentes (Lr et rL) et correspondent à celle des hybrides de la génération F_1 les deux autres correspondent aux formules factorielles

(LL et rr) des lignées pures des parents. Le caractère récessif n'a qu'une chance sur 4 de se manifester puisque les individus LL et Lr sont de type lisse dominant.

L'hypothèse de Mendel sur la disjonction des facteurs lors de la formation des gamètes permet donc d'expliquer les résultats obtenus en F_1 et F_2 .

Cependant ces proportions ne seront effectivement retrouvées au cours des expériences que si l'on prend soin comme Mendel d'observer un grand nombre d'individus de chaque génération.

Les facteurs héréditaires ou déterminant de Mendel sont appelés aujourd'hui les gènes d'où le nom de génétique donnée à la science de l'hérédité.

L'ensemble des gènes d'un individu constitue son génotype celui-ci doit être distingué de l'ensemble des traits observables sur l'individu appelé phénotype.

Un individu reçoit de chacun de ses parents pour un caractère donné un gène. Les individus de lignée pure lisse possèdent deux fois le gène L - leur génotype pour ce caractère est LL. Ils sont dits homozygotes. Leur phénotype est lisse.

Les individus de lignée pure ridée possèdent 2 fois le gène r. Leur génotype pour ce caractère est rr. Ils sont dits homozygotes. Leur phénotype est ridé.

Les individus lisses hybrides de la génération F_1 possèdent deux gènes dissemblables L qui provient de l'un des parents, r qui provient de l'autre. Leur génotype est Lr. Ils sont dits hétérozygotes. Leur phénotype est lisse. Les individus de lignée pure lisse et les hybrides de la génération F_1 présentent le même aspect extérieur, le même phénotype : le phénotype lisse. Leurs génotypes LL et Lr sont différents. Le phénotype est donc déterminé par le gène dominant.

Remarque :

L et r constituent un couple d'allèles. Un couple d'allèle correspond à deux états différents d'un même gène.

Complément à l'étude du mono hybridisme :

Monohybridisme sans dominance :

Dans d'autres expériences on obtient des hybrides F_1 de type intermédiaire par apport aux parents. Dans ce cas il n'y a pas de dominance, les deux allèles agissent de la même façon.

Exemple :

Croisons des belles de nuit à fleurs rouges et des belles de nuit à fleurs blanches.

Les hybrides de la F_1 sont roses (caractère intermédiaire).

Les individus issus de la F_1 c'est-à-dire la génération F_2 présentent :

1/4 d'individus à fleurs rouges.

1/4 d'individus à fleurs blanches.

1/2 d'individus à fleurs roses.



Croisement de retour :

Dans le cas où la dominance existe, il est souvent important pour un éleveur ou un chercheur de savoir si un individu de phénotype correspondant au caractère dominant est homozygote ou hétérozygote pour ce caractère. Pour le savoir on effectue un croisement de retour (encore appelé croisement test ou test-cross). On croise l'individu considéré avec un parent de type récessif. Exemple : on veut savoir si des pois produisant des graines de phénotype lisse sont homozygotes ou hétérozygotes pour le caractère lisse. On les croise avec des pois produisant des graines de phénotype ridé (parent type récessif).

*Premier cas :***Hypothèse :**

Le parent de phénotype lisse est homozygote. Dans ce cas son génotype est LL. Le parent de type récessif produit des gamètes tous identiques portant le caractère lisse L. Le parent de type récessif produit des gamètes tous identiques portant le caractère ridé r.

Observation :

Lors du croisement on obtient uniquement des individus portant à la fois le caractère lisse L et le caractère ridé r c'est-à-dire de phénotype lisse. On obtient 100% d'individus de phénotype lisse suivant l'échiquier ci-joint.

Interprétation :

Lorsqu' on croise un parent de type dominant avec un parent de type récessif, si tous les hybrides sont de type dominant, le parent de type dominant est homozygote pour le caractère.

p o	L	L
	Lr	Lr
r	Lr	Lr
r	Lr	Lr

*Deuxième cas :***Hypothèse :**

Le parent de phénotype lisse est hétérozygote. Ils produisent deux sortes de gamètes : des gamètes portant le caractère lisse L et des gamètes portant le caractère ridé r.

Le parent de type récessif produit des gamètes tous identiques portant le caractère ridé r.

Observation :

L'échiquier de croisement montre qu'on obtient 50% d'individus de phénotype ridé.

p o	L	r
r	Lr	rr
r	Lr	rr

Interprétation :

Lorsqu' on croise un parent de type dominant avec un parent de type récessif, si 50% des hybrides sont de type dominant, et 50% de type récessif, le parent de type dominant est hétérozygote pour le caractère considéré.

Conclusion :

Les résultats de croisement de retour permettent de dire si un parent de phénotype dominant est homozygote ou hétérozygote pour le caractère considéré.

Dihybridisme :

Le croisement de deux individus de lignées pures qui diffèrent par deux caractères c'est un cas de dihybridisme.

Mendel utilise 2 lignées pures de pois différant par deux caractères :

L'un est l'aspect de la graine, l'autre la couleur des cotylédons.

L'aspect de la graine présente les allèles ridés et lisse, la couleur des cotylédons les allèles vert et jaune.

Une expérience de Mendel :

Première étape de l'expérience :*La réalisation :*

Mendel pratique la pollinisation entre les deux lignées pures de pois. L'une possède des graines lisses à cotylédons jaunes et l'autre des graines ridées à cotylédons verts. La pureté des lignées a été vérifiée par des cultures successives.

Les résultats :

Toutes les graines résultant de cette fécondation sont des hybrides et constituent la génération fille F1. Elles présentent un aspect ou phénotype lisse-jaune.

La conclusion :

Tous les hybrides de la première génération présentent le même aspect. la première loi de Mendel (uniformité des hybrides de première génération) se trouve vérifiée quand les parents diffèrent par deux caractères. Le caractère lisse est dominant, le caractère ridé est récessif. Le caractère jaune est dominant, le caractère vert est récessif.

Deuxième étape de l'expérience :

La réalisation :

Mendel sème les graines lisses et jaunes de la génération F_1 et laisse l'autofécondation se produire, dans les fleurs issues de ces pieds. Mendel travaille sur 15 pieds de pois. Il récolte les graines de ces pieds. ces graines constituent la génération fille F_2 .

Les résultats :

Il trouve 556 graines réparties de la façon suivante :

315 graines lisses et jaunes, soit 56.6%.

108 graines lisses et vertes, soit 19.4%.

101 graines ridées et jaunes, soit 18.1%.

32 graines ridées et vertes, soit 5.8%.

Les proportions relatives des différents phénotypes sont les suivant :

9/16 lisse-jaune. 3/16 lisse-vert.

3/16 ridé-jaune. 1/16 ridé-vert.

Conclusion : Mendel constate que les phénotypes des parents réapparaissent mais que de nouveaux phénotypes se forment : le phénotype ridé-jaune et le phénotype lisse-vert.

Interprétation de l'expérience :

Se fait peut s'expliquer si on admet que les facteurs déterminant chaque caractère se disjoignent eux-mêmes indépendamment au moment de la formation des gamètes, chaque gamète n'emportant qu'un allèle de chaque couple, puisque les graines lisses sont soit jaunes, soit vertes et les graines ridées soit jaunes, soit vertes. Mendel en déduit une troisième loi : les différents caractères se disjoignent indépendamment les uns des autres.

Représentons par L l'allèle dominant lisse et r l'allèle récessif ridé et par J l'allèle dominant jaune et v l'allèle récessif vert.

Les hybrides de la génération F_1 reçoivent d'un parent les allèles L et J

Et de l'autre parent les allèles r et v. le génotype des hybrides de la F_1 est donc LrJv. Les gamètes sont purs pour un caractère et les allèles d'un caractère se disjoignent indépendamment des allèles de l'autre caractère. Nous obtenons à la génération F_1 quatre sortes de gamètes en quantités statistiquement égales portant L J - Jv - rJ - rv . de leur rencontre au hasard naît la génération F_2 . nous pouvons trouver les possibilités de rencontre de ces gamètes en établissant le tableau suivant :



p o	JL	Jr	vL	vr
JL	JJLL 	JJLr 	JvLL 	JvLr 
Jr	JJLr 	JJrr 	JvLr 	Jvrr 
vL	vJLL 	vJLr 	vvLL 	vvLr 
vr	JvLr 	Jvrr 	vvLr 	Vvrr 

Le Tableau montrant comment peuvent s'unir les caractères

(Jaune, lisse, vert, ridé) transmis par les gamètes des hybrides de la génération F1.en couleur, combinaison correspondant à des homozygotes.

Nous retrouvons bien les quatre phénotypes de la génération F2 de l'expérience et de plus les proportions sont les mêmes : 9/16,3/16,3/16, et 1/16.

Regardez la diagonale. Elle indique les génotypes qui renferment deux fois le même allèle pour chacun de deux caractères :

Exemple : JJ LL, JJ rr, vv rr, les individus correspondants sont homozygotes pour les deux caractères .ils sont de lignée pure ; nous avons maintenant 4lignées pures correspondants aux quatre phynotypes.les lignées pures <<ridé-jaune>>et <<lisse-vert>>sont nouvelles, par l'hybridation, on peut donc créer des lignées nouvelles stables .cette technique est utilisée par les agriculteurs et les éleveurs.

Donc les lois de Mendel :

Première loi : *uniformité des hybrides de première génération.*

Deuxième loi : *la pureté des gamètes.*

Troisième loi : *ségrégation indépendante des caractères.*



2. Mitose et méiose :

2.1. Mitose

Mitose, division cellulaire qui, à partir d'une cellule somatique, produit deux cellules filles, toutes deux identiques, et également identiques à la cellule mère. La mitose concerne uniquement les cellules somatiques (non sexuelles). Les substances capables de bloquer les mitoses sont appelées antimitotiques. La colchicine, molécule extraite du colchique (plante toxique pour cette raison), en est le représentant le plus connu (voir anticancéreux).

DEROULEMENT DE LA MITOSE

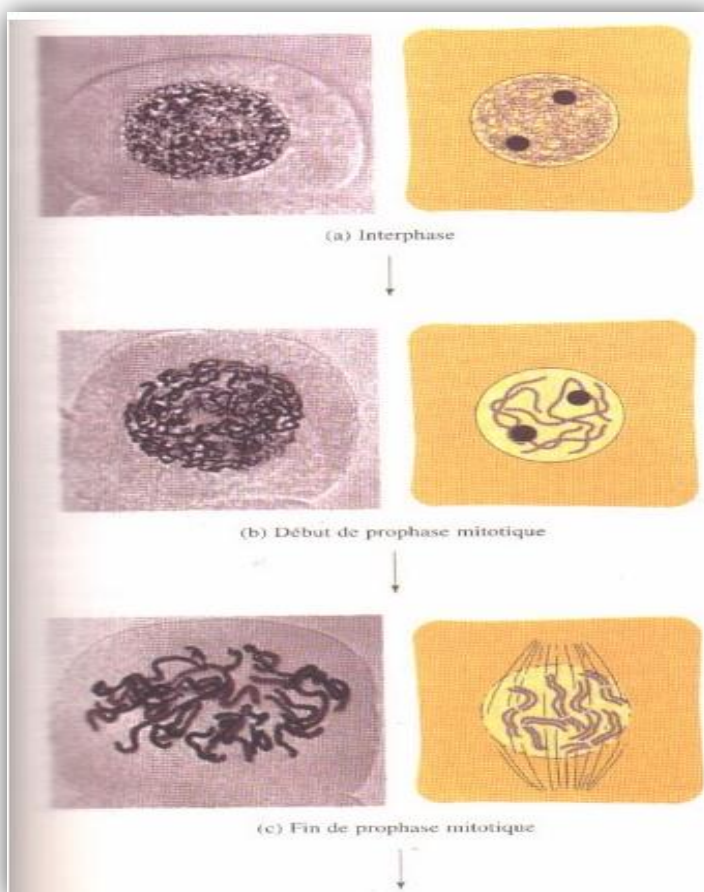
(dans les cellules de l'extrémité des racines chez *lilium regale*)

La mitose se déroule de façon quasi identique chez la totalité des animaux et des végétaux. On peut distinguer d'une part, la division du noyau cellulaire (la mitose *stricto sensu*, ou caryocinèse) et, d'autre part, la division finale du cytoplasme (cytodiérèse), qui donne naissance à deux cellules filles, chacune contenant un des noyaux issus de la caryocinèse. Chez les végétaux, la présence d'une paroi cellulaire externe rigide ne modifie que très légèrement la mitose : seule l'étape de cytodiérèse est réellement affectée (contrairement à ce qui se passe dans les cellules animales, le cytoplasme ne se scinde pas, mais la cellule végétale synthétise une nouvelle paroi entre les deux cellules filles).

Toute division cellulaire nécessite la duplication du matériel génétique (ADN). Celle-ci a lieu pendant une période appelée interphase, qui sépare deux mitoses successives. La mitose elle-même est un phénomène séquentiel qui comporte quatre étapes :

→ L'Interphase, période pendant laquelle ont lieu des réactions métaboliques permettant la conservation de la cellule et la préparation à la mitose (réplication de l'ADN)

→ la prophase, (debut & fin) durant laquelle la chromatine se condense et les chromosomes s'individualisent, chacun apparaissant comme un long filament visible en microscopie optique, constitué de deux *chromatides* réunies par un *centromère* ; la membrane nucléaire disparaît ;



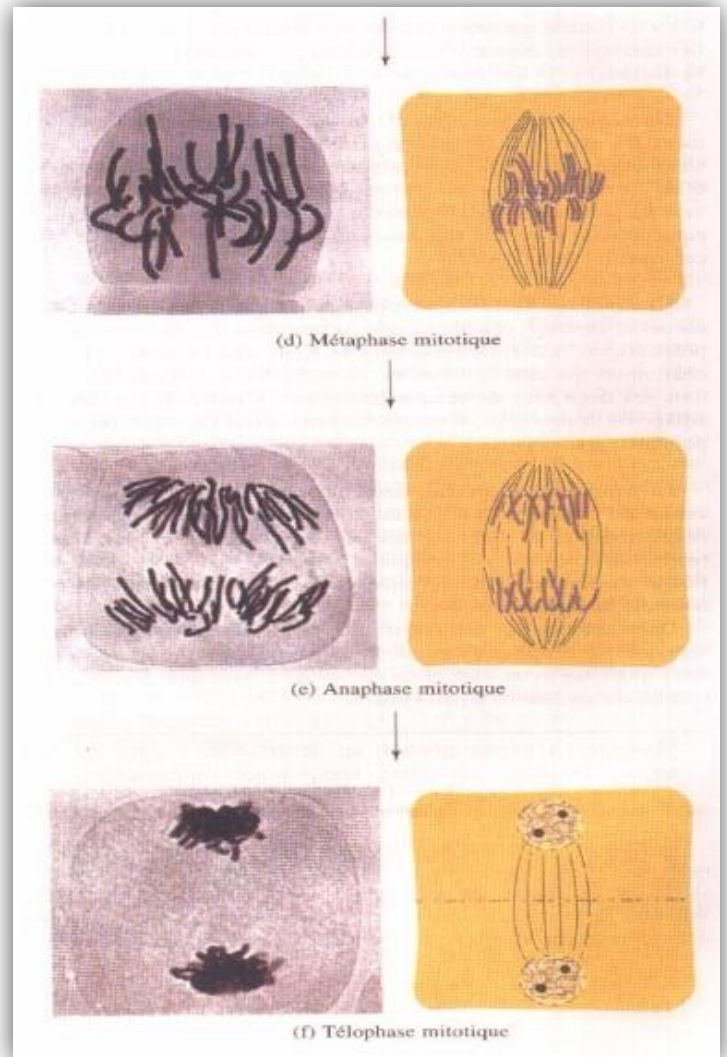
19

→ La métaphase, au cours de laquelle se forme le fuseau mitotique ou achromatique, réseau de microtubules sur lesquels les chromosomes se fixent par leur centromère, en se plaçant le long d'un plan équatorial (c'est à ce niveau qu'agit la colchicine, empêchant l'assemblage des microtubules) ;

→ L'anaphase, pendant laquelle les chromatides de chaque chromosome, ou chromatides sœurs, se séparent et se placent chacune à un pôle de la cellule, entraînées par le fuseau mitotique ;

→ La télophase, phase finale, où chacun des deux pôles de la cellule comporte le même nombre de chromosomes. Ces derniers se décondensent et deux membranes nucléaires se reconstituent (c'est la fin de la caryocynèse). Le cytoplasme se divise à son tour, par étranglement approximativement dans sa région centrale, et deux nouvelles cellules se forment à partir de la cellule d'origine, c'est la cytoditérèse.

Lilium regale



IMPLICATION

Grâce à la mitose, qui produit des clones de cellules ayant toutes le même génome (si l'on excepte les phénomènes de mutations), le nombre de chromosomes reste constant d'une cellule à l'autre. En revanche, le contenu du cytoplasme peut très bien n'être pas distribué de façon symétrique entre les deux cellules filles. Les remaniements chromosomiques, comme les échanges de matériel génétique entre des chromosomes de la même paire (crossing-over), sont fréquents durant la métaphase.

2.2 Méiose

La Méiose, mécanisme intervenant au cours de la formation des cellules sexuelles (ou gamètes), dans lequel les cellules à l'origine des gamètes (cellules germinales) subissent successivement deux divisions cellulaires particulières, pour donner des cellules ne possédant plus qu'un seul exemplaire de chaque chromosome.

DÉROULEMENT DE LA MÉIOSE (au cours de formation des pollens chez *lilium regale*)

La méiose se réalise en deux divisions cellulaires successives.

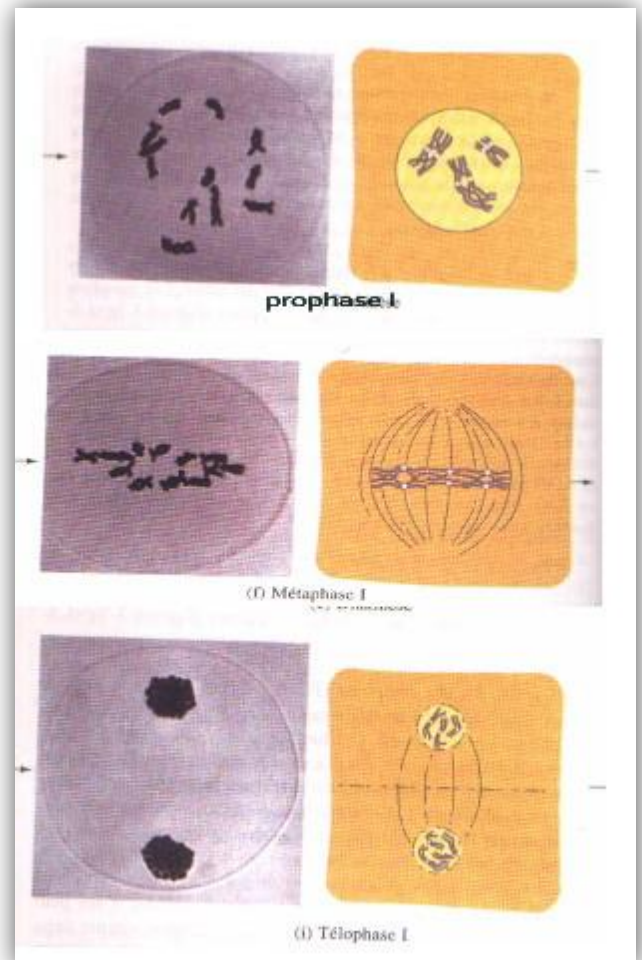
Première division méiotique :

La première division de la méiose est dite « réductionnelle », car c'est elle qui conduit à la réduction de moitié du nombre des chromosomes dans les cellules-filles. Comme lors de la mitose (division cellulaire « ordinaire »), cette première division est précédée par une duplication des chromosomes, de sorte que chacun d'eux est formé de deux molécules d'ADN condensées (les chromatides), absolument identiques, qui restent reliées entre elles au niveau d'une région du chromosome appelée centromère.

→ La prophase I, première étape de cette division, les chromosomes de chaque paire s'apparient étroitement deux à deux. Des portions homologues de chromatides sont alors échangées entre les chromosomes. Ce mécanisme, appelé *crossing-over*, aboutit à des recombinaisons génétiques : il permet un « brassage » important des gènes maternels et paternels.

→ La métaphase I, Au cours de ce étape suivante, l'ensemble des paires appariées de chromosomes se disposent sur un plan au centre de la cellule.

→ L'anaphase I et la Télophase I, les chromosomes de chaque paire se dissocient et migrent de manière aléatoire vers l'une ou l'autre des extrémités de la cellule en division. Ce processus assure un deuxième brassage des chromosomes, car les deux lots ainsi constitués contiennent un mélange de chromosomes paternels et maternels.



et les deux cellules filles se forment par division du cytoplasme de la cellule mère.

Chaque cellule fille ne contient dès lors plus qu'un seul lot de chromosomes à deux chromatides : elle est haploïde.

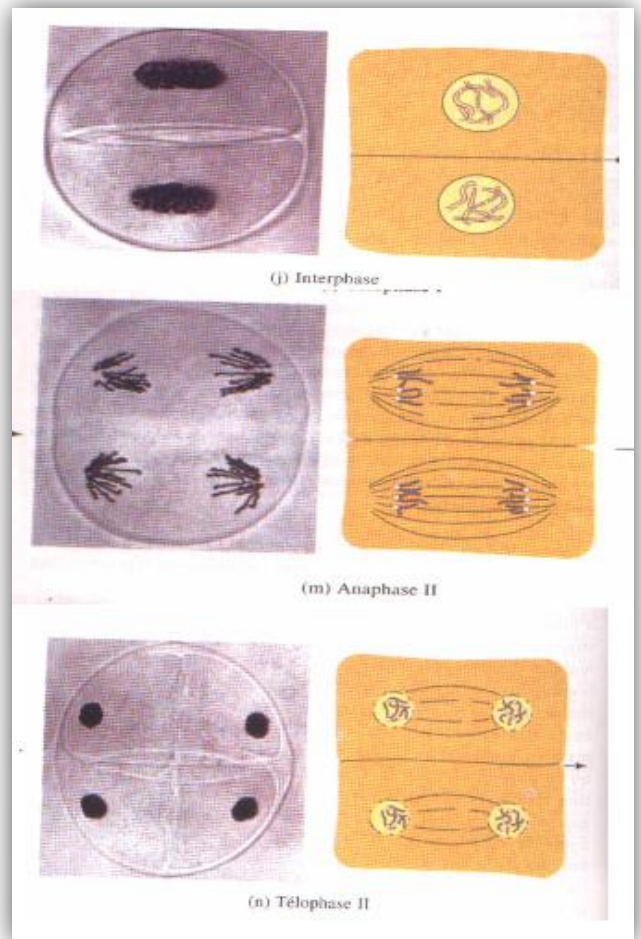
Seconde Division Méiotique :

Les deux cellules filles subissent immédiatement une seconde division, sans duplication préalable des chromosomes.

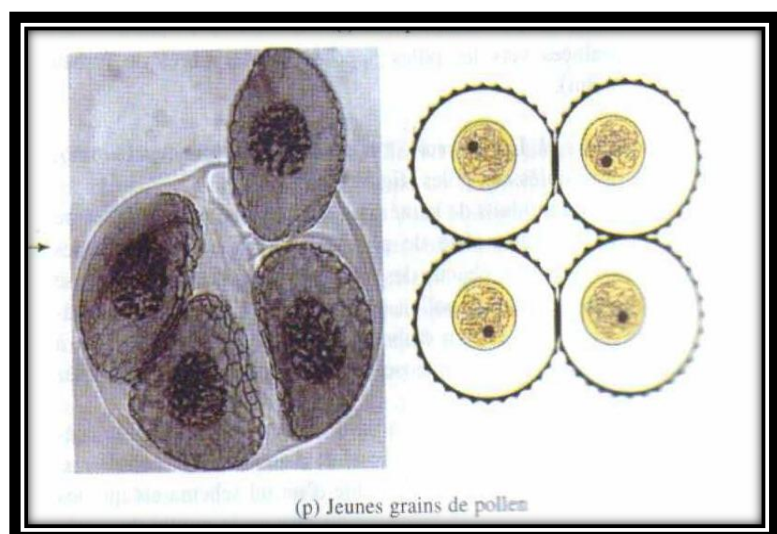
→ L'anaphase II, ce sont cette fois les chromatides de chaque chromosome qui se dissocient et migrent vers les extrémités de la cellule. À l'issue des deux divisions successives de la méiose, la cellule initiale, diploïde, aura donc formé quatre cellules haploïdes (les gamètes), contenant chacune un lot unique de chromosomes à une seule chromatide.

→ La télophase II. Formation les jeunes graines de pollen.

Ressource des images : Introduction d'analyse génétique. GRIFFITHS, MILLER.. 6^{ème} édition American 1997.



→ La télophase II. Formation les jeunes graines de pollen.



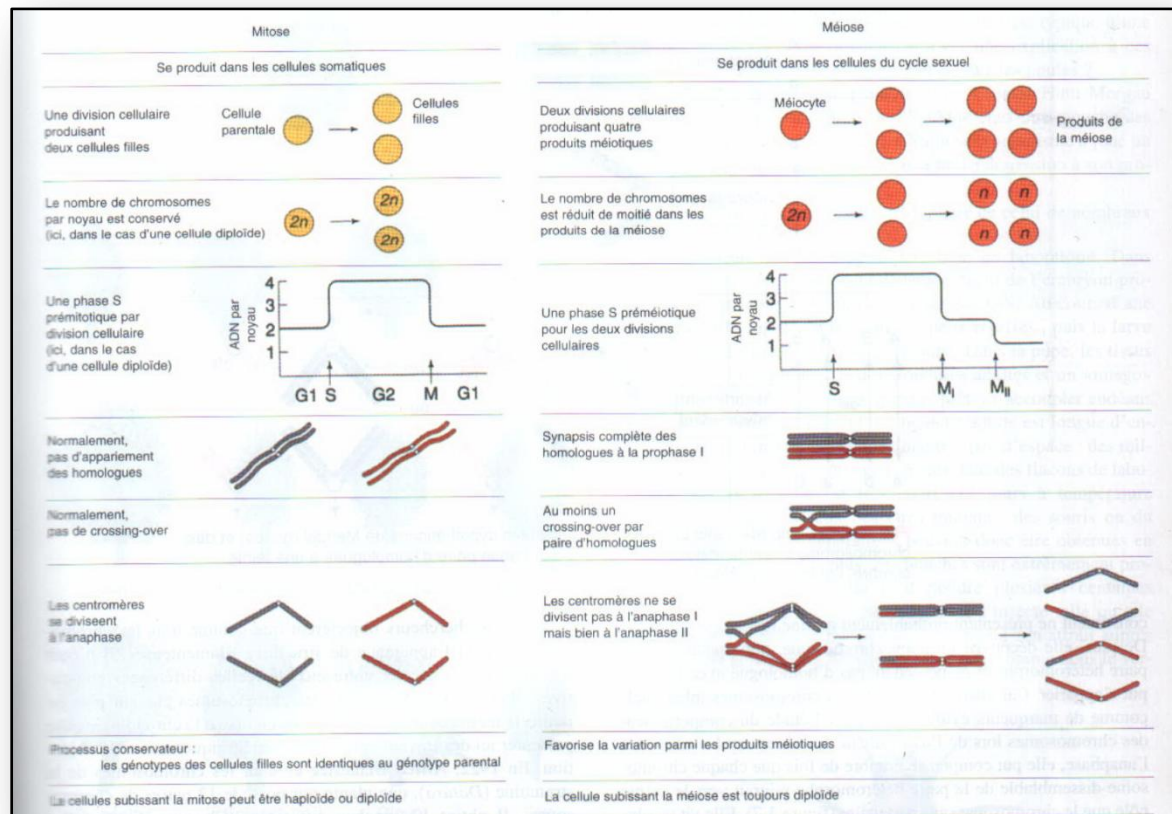


Fig. composition des caractéristiques principales de la mitose et de la méiose.
Ressource des images : Introduction d'analyse génétique.

3. Théorie chromosomique :

L'origine de la théorie et l'interprétation des lois de Mendel :

En 1902, Sutton, cytologiste américain, avance l'hypothèse que les facteurs héréditaires sont localisés sur les chromosomes ou constituent des parties de chromosomes. C'est la théorie chromosomique de l'hérédité qui s'appuie sur la comparaison suivante :

	Comportement des facteurs héréditaires	Comportement des chromosomes
1	Ils existent par couples dans les cellules de l'origine.	Ils existent par paires dans les cellules diploïdes de l'organisme.
2	Les deux facteurs de chaque couple se séparent au moment de la formation des gamètes.	Les chromosomes de chaque paire se séparent au moment de la méiose lors de la formation des gamètes.
3	Ces facteurs héréditaires se regroupent par deux au moment de la fécondation.	De nouvelles paires chromosomiques se forment au moment de la fécondation.

4. Principe de génétique actuelle

Les deux lois de Mendel devinrent la base théorique de la génétique moderne et de l'hérédité. À ces principes s'en ajoute un troisième, capital, souvent attribué à Mendel, mais qui ne fut découvert que plus tard : l'expression de chaque caractère est contrôlée par une paire de facteurs, dont l'un vient du père et l'autre de la mère. Ces facteurs, unités héréditaires, furent appelées gènes au début du xx^e siècle. Les paires se séparent lors de la formation des gamètes lorsqu'il y a reproduction sexuée. L'union de l'ovule et du spermatozoïde lors de la fécondation entraîne la formation d'une paire de gènes dans laquelle l'expression du gène dominant cache celle du gène récessif, quand il s'agit d'un individu hybride, c'est-à-dire hétérozygote. Lorsque les deux gènes sont identiques, dominants ou récessifs, on parle aujourd'hui d'homozygotie.

Hérédité non mendélienne

Beaucoup des exemples actuellement connus d'hérédité non mendélienne relèvent de ce qu'on appelle en général l'hérédité cytoplasmique, dont le matériel génétique est situé dans le cytoplasme cellulaire, alors que le matériel génétique chromosomique est situé dans le noyau.

Si, dans l'hérédité mendélienne, les rôles joués par les gamètes mâles et femelles sont rigoureusement symétriques, sauf en ce qui concerne les caractères liés au sexe, dans l'hérédité cytoplasmique les gamètes présentent une dissymétrie fondamentale ; en effet, chez la plupart des espèces, les gamètes femelles sont riches en cytoplasme et aptes à porter du matériel génétique cytoplasmique (plastides, mitochondries), alors que les gamètes mâles en sont à peu près totalement dépourvus. Ce cytoplasme peut aussi contenir des germes pathogènes transmissibles de génération en génération (sensibilité au gaz carbonique des souches de drosophile).

Certains cas de stérilité mâle chez les végétaux supérieurs relèvent de l'hérédité cytoplasmique : des individus qualifiés de « mâle-stérile » sont aptes à former des gamètes femelles, mais ne produisent qu'une très faible quantité de gamètes mâles, donc de grains de pollen, viables. La réalisation de croisements dits réciproques (femelle « mâle-stérile » $\times$ mâle « mâle-fertile » et femelle « mâle-fertile » $\times$ mâle « mâle-stérile ») montre que les plantes issues d'une femelle « mâle-stérile » sont toutes « mâle-stérile », alors que les plantes issues d'une femelle « mâle-fertile » sont toutes « mâle-fertile ». Le caractère « stérilité mâle » présenté par un individu est transmis par tous les gamètes femelles qu'il forme, mais n'est transmis par aucun gamète mâle.

L'importance de cette hérédité cytoplasmique ne semble pas considérable en ce qui concerne la transmission des caractères d'un individu à sa descendance. Mais elle joue sans doute un grand rôle au niveau cellulaire : toutes les cellules d'un embryon, bien qu'issues par mitoses successives d'un zygote unique, sont cependant héréditairement différentes, en ce sens qu'à partir d'un certain stade du développement certaines sont irréversiblement destinées à donner des cellules nerveuses, alors que d'autres sont irréversiblement destinées à donner des cellules hépatiques, par exemple. L'origine de ces différences est sans doute dans le fait que le cytoplasme du zygote n'est pas également réparti entre toutes les cellules de l'embryon.



Transcription, traduction, réplication

L'information portée par un gène s'exprime par la synthèse de molécules d'ARN simple brin dont la séquence des bases des ribonucléotides est complémentaire de celle des bases d'un des brins de l'ADN du gène ; cette expression de l'information est la transcription du gène et selon le gène l'ARN transcrit est soit un ARN messager (ARNm), soit un ARN ribosomien (ARNr), soit un ARN de transfert (ARNt). Les trois types d'ARN sont utilisés pour la synthèse des chaînes polypeptidiques des protéines. La séquence des nucléotides d'un ARNm est traduite en séquence d'acides aminés par les ribosomes qui sont des complexes ARNr protéines ; en fait c'est la séquence de trois nucléotides adjacents ou codon qui spécifie chaque acide aminé, la table de correspondance entre les 64 codons et les 20 acides aminés étant le code génétique. Lors de la traduction des ARNm par les ribosomes, les acides aminés doivent être liés chacun à une molécule d'ARNt qui au niveau du ribosome permet de positionner l'acide aminé en regard de son codon ; ce positionnement se fait grâce à une séquence de 3 nucléotides située au milieu de la chaîne d'ARNt, séquence qui est complémentaire de celle du codon et qu'on appelle anticodon. (Tableau code génétique).

		Deuxième lettre				
		U	C	A	G	
Première lettre	U	UUU } Phe UUC } UUA } Leu UUG }	UCU } UCC } Ser UCA } UCG }	UAU } Tyr UAC } UAA Stop UAG Stop	UGU } Cys UGC } UGA Stop UGG Trp	U C A G
	C	CUU } CUC } Leu CUA } CUG }	CCU } CCC } Pro CCA } CCG }	CAU } His CAC } CAA } Gln CAG }	CGU } CGC } Arg CGA } CGG }	U C A G
	A	AUU } Ile AUC } AUA } AUG Met	ACU } ACC } Thr ACA } ACG }	AAU } Asn AAC } AAA } Lys AAG }	AGU } Ser AGC } AGA } Arg AGG }	U C A G
	G	GUU } Val GUC } GUA } GUG }	GCU } GCC } Ala GCA } GCG }	GAU } Asp GAC } GAA } Glu GAG }	GGU } GGC } Gly GGA } GGG }	U C A G

Figure 13-18. Le code génétique.

Le code génétique.

Ressource des images : Introduction d'analyse génétique

L'expression de l'information cellulaire par transcription des gènes permet donc la traduction des ARNm par les ribosomes, c'est-à-dire la synthèse des chaînes polypeptidiques des protéines, molécules qui sont fondamentales pour la cellule car ce sont soit des matériaux de construction, soit des enzymes qui catalysent les réactions biochimiques, soit des régulateurs de l'activité cellulaire.

L'information cellulaire peut également être copiée puis transmise d'une cellule mère à deux cellules filles. La copie de l'information se fait par synthèse de deux molécules d'ADN à partir de chaque molécule d'ADN parental selon un mécanisme qui

est la réplication ; les deux molécules ainsi synthétisées sont strictement identiques à la molécule parentale qui leur a donné naissance

Les deux lots de molécules d'ADN chromosomique peuvent ensuite être partagés entre deux cellules filles selon un processus complexe et précis : la division cellulaire. Au cours de la division les molécules d'ADN extrachromosomiques : plasmide, ADNmt et ADNct sont réparties au hasard lors de la bipartition, étape finale de la division (ou cytodierèse) qui individualisera les deux cellules filles.

Provenant des divisions successives d'une cellule œuf, les cellules d'un organisme pluricellulaire celui de l'être humain ont toutes la même information ; leurs génomes sont identiques et pourtant les cellules ne sont pas toutes semblables : on distingue des fibroblastes, des cellules nerveuses ou neurones, des cellules musculaires, des globules blancs, etc. Ces différences entre cellules sont dues au fait que selon les types cellulaires, les gènes qui sont transcrits ne sont pas tous les mêmes, les gènes qui codent pour le collagène et l'élastine sont transcrits dans les fibroblastes mais ne le sont pas dans les neurones ou les globules blancs.

Au cours de l'existence d'une cellule, la nature des gènes qui sont transcrits dans cette cellule, peut-être modifiée. Par exemple, certaines souches de colibacille ne synthétisent l'enzyme catalysant l'hydrolyse du lactose en galactose et lactose que si le lactose est présent dans le milieu de culture ; en absence de lactose, la bactérie arrête la transcription de l'ARN, codant pour cette enzyme. Bien que la régulation de la transcription des gènes soit encore difficile à comprendre, on sait qu'elle fait intervenir une région adjacente au gène : son promoteur, qui n'est pas transcrit.

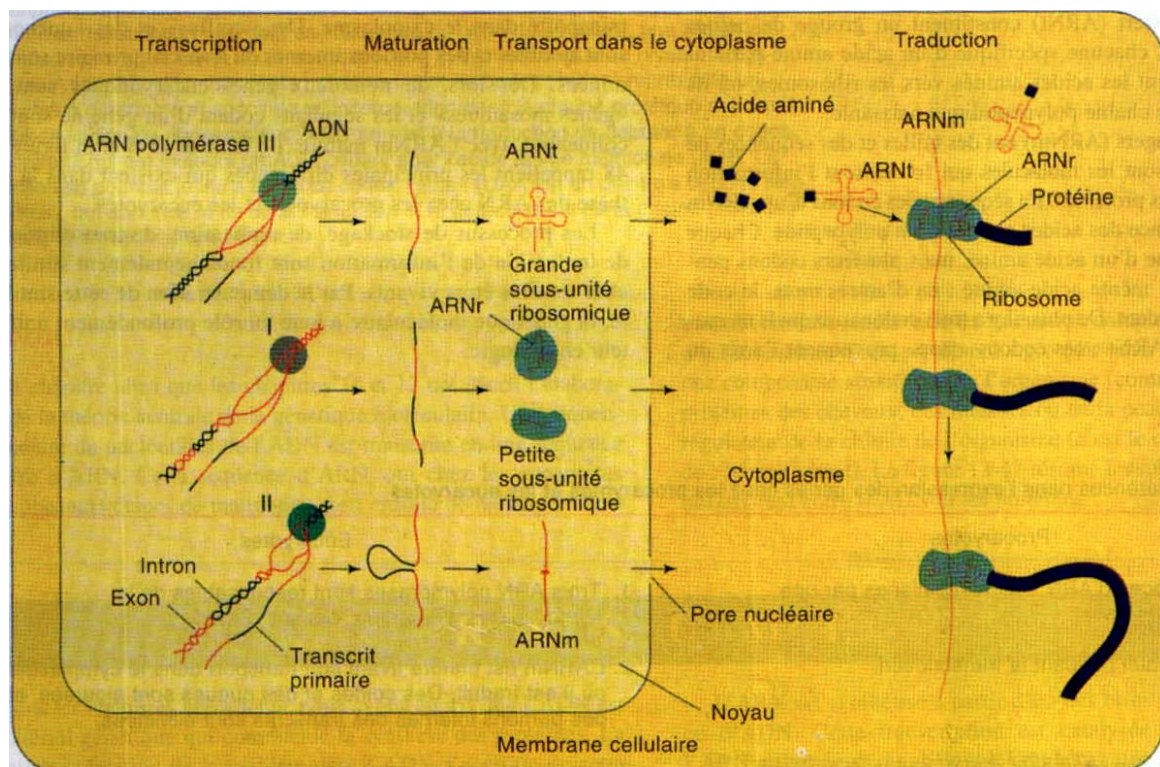


Fig. Transcription et Traduction

Ressource des images : Introduction d'analyse génétique.

Le crossing-over

Le *crossing-over*, encore appelé "crossover", "enjambement" ou "entrecroisement", est un phénomène génétique qui a lieu lors de la méiose et qui contribue au brassage génétique lors de la reproduction (Recombinaison génétique).

A la fin de la prophase 1 de la méiose, les chromosomes homologues (i.e. d'une même paire) se chevauchent formant ainsi des figures caractéristiques appelées "tétrade de chromatides" et échangent des fragments de chromatides. Le résultat en est le brassage intra-chromosomique des allèles : tous les gènes situés sur une paire de chromosome peuvent être brassés grâce au phénomène de la "recombinaison homologue par crossing over", ce qui modifie l'association d'allèles portée par chacun des chromosomes. Ainsi, les deux chromosomes de chaque paire après la méiose sont différents des deux chromosomes de départ, on dit qu'ils sont "recombinés".

Pour que l'échange ait lieu, les deux chromosomes de chaque paire se rapprochent et se brisent au même niveau de la séquence génétique pour ensuite échanger les fragments résultants. Ceci se fait au niveau de chiasmas, points de chevauchement de deux chromatides non-soeurs, observables en microscopie.

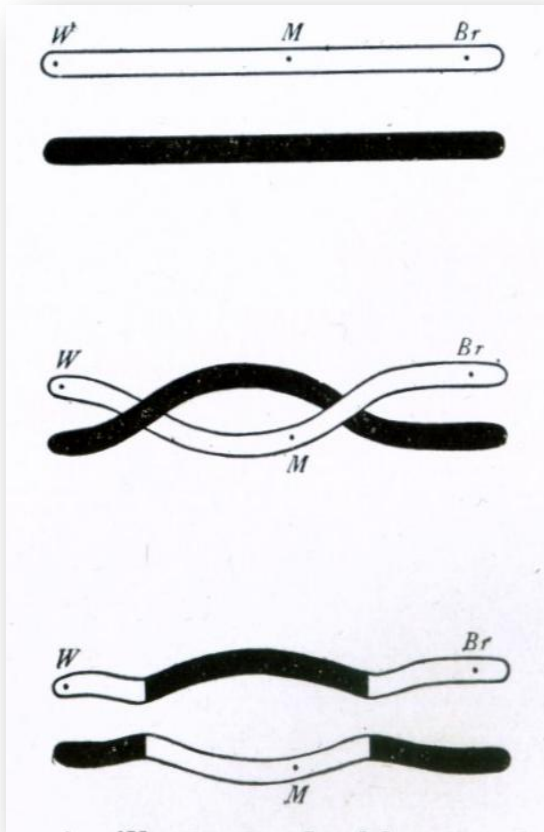
Il arrive parfois que les deux chromosomes ne se brisent pas au même niveau, ce qui entraîne une duplication de gènes sur un chromosome et une suppression sur l'autre. On appelle ce phénomène un **crossover inégal**. Si un chromosome se brise de part et d'autre du même centromère et que les deux parties se rejoignent en excluant le centromère, un chromosome peut être perdu durant la division cellulaire.

Chaque paire de chromosomes réalise plusieurs crossovers durant la méiose, plus ou moins nombreux selon l'espèce et la longueur des chromosomes.

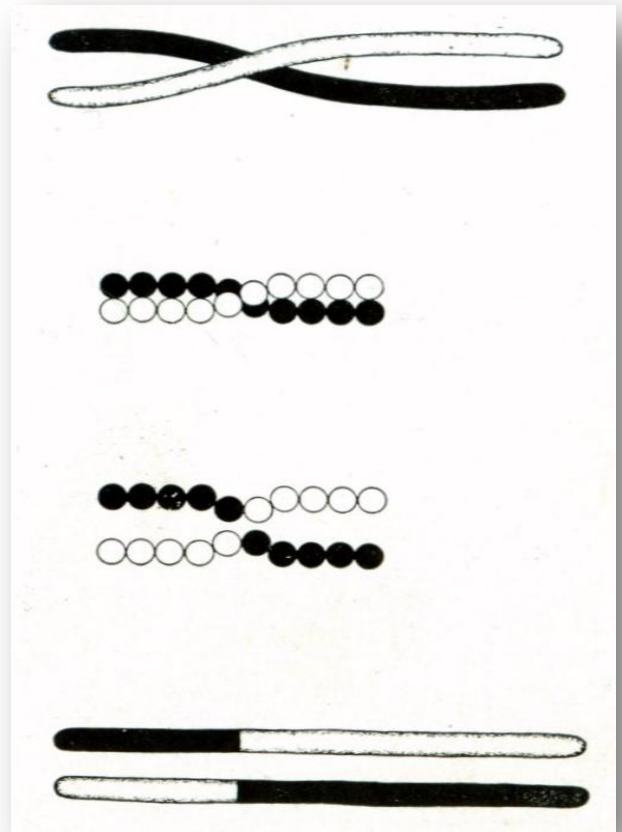
Le crossing-over a été découvert par Thomas Hunt Morgan qui publie ses observations en 1916 dans son ouvrage *Une Critique de la Théorie de l'Evolution*, et la base physique de ce phénomène fut démontrée en 1931 par Harriet Creighton et Barbara McClintock.

Morgan est l'inventeur d'une unité de mesure (le centimorgan ou cM) de la distance entre deux gènes sur un même chromosome. Cette distance est calculée en fonction de la fréquence des crossing-over ayant lieu entre ces deux gènes : 1 centimorgan correspond à un pourcent de descendant au génotype recombiné (résultant d'un crossing-over).





Double crossing-over



Simple crossing-over

La Ploïdie

Le terme « ploïdie », précédé d'un préfixe précisant le nombre de répétitions, est utilisé pour désigner les différentes situations rencontrées. L'haploïdie correspond à l'absence de répétitions et le lot fondamental de chromosomes est qualifié d'haploïde. La diploïdie, la triploïdie, la tétraploïdie, etc., représentent alors les degrés successifs de ploïdie, le mot « polyploïdie » étant utilisé pour désigner collectivement les degrés supérieurs à la simple diploïdie.

Il existe, d'autre part, des cas où le nombre de répétitions n'est pas le même pour les différents chromosomes du lot haploïde. L'un d'entre eux est, par exemple, présent soit en trois exemplaires (trisomie), soit en un seul (monosomie), alors que les autres sont à l'état diploïde. Le terme « aneuploïdie » couvre l'ensemble des situations de ce type, en s'opposant à « euploïdie » qui correspond aux degrés réguliers de ploïdie.

L'haploïdie et la diploïdie sont de beaucoup les plus répandus. Ils se rencontrent l'un et l'autre à l'occasion de la reproduction sexuée de la plupart des organismes. Un aspect essentiel de celle-ci, en effet, est l'alternance, au cours du cycle, d'une phase haploïde (n) et d'une phase diploïde ($2n$). Chez les plantes supérieures et les animaux, la masse de l'organisme est normalement construite de cellules diploïdes et l'état haploïde n'apparaît qu'avec la formation des gamètes.

La polyploïdie n'est toutefois en aucune façon une situation rare. Elle peut tout d'abord se présenter comme une modalité de la différenciation cellulaire. On rencontre des cellules polyploïdes dans certains tissus d'organismes développés à partir de zygotes diploïdes. Il existe aussi dans la nature, et l'on peut produire artificiellement, des individus polyploïdes ou aneuploïdes. Certains types de polyploïdes génétiquement stables constituent des populations entièrement formées d'individus polyploïdes. Ce sont en fait des espèces distinctes des espèces diploïdes à partir desquelles elles ont pris naissance ; la polyploïdie a joué ainsi un rôle dans l'évolution, surtout dans le règne végétal.

Les conséquences phénotypiques des changements de ploïdie

Une modification du degré de ploïdie n'introduit pas de différence fondamentale dans le matériel génétique des cellules : les mêmes gènes sont présents avec les mêmes doses relatives.

Corrélativement, on peut observer que les polyploïdes sont généralement viables et diffèrent peu des diploïdes correspondants. Les différences éventuelles dépendent de la taille des cellules, qui croît avec le degré de ploïdie. Ce gigantisme cellulaire entraîne souvent un gigantisme comparable pour certains organes qui restent construits avec le même nombre de cellules. Tel est le cas pour les pièces florales des végétaux. Cette propriété trouve son utilisation en horticulture ; un grand nombre de plantes ornementales introduites dans nos jardins modernes sont des polyploïdes obtenus artificiellement, grâce notamment à la colchicine.

La relative indifférence des caractères de l'individu vis-à-vis du degré de ploïdie contraste vivement avec la situation observée dans les cas d'aneuploïdie. Les zygotes à garniture chromosomique aneuploïde ne sont généralement pas viables et, lorsqu'ils le sont, ils donnent naissance à des individus anormaux.

Reproduction sexuée des polyploïdes

Le déroulement de la méiose est toujours plus ou moins perturbé chez les polyploïdes. Lorsque plus de deux éléments homologues sont présents, la tendance des chromosomes à s'apparier par deux, par rapprochement de leurs régions homologues, et à former des chiasmas conduit en effet, à la métaphase de la première division, à des dispositions variées. Les quatre chromosomes homologues d'un tétraploïde, par exemple, peuvent soit rester associés en un seul groupe de quatre (tétravalent), soit former deux bivalents, soit, plus rarement un trivalent et un monovalent. À l'anaphase, les structures polyvalentes se dissocient de manière variée, d'où toute une gamme possible de garnitures chromosomiques pour les gamètes.

Ce comportement des chromosomes a une répercussion directe sur la fertilité et la stabilité génétique des polyploïdes. Les triploïdes, et d'une manière générale les polyploïdes impairs, sont toujours fortement stériles. Chacun des groupes de trois chromosomes se dissocie en effet normalement en deux et un, d'où la production de gamètes à garniture presque toujours aneuploïde, avec un effectif de chromosomes intermédiaire entre le nombre haploïde et le nombre diploïde. Les polyploïdes pairs sont, au contraire, généralement assez fertiles. Chez les tétraploïdes, par exemple, les groupes de quatre se dissocient fréquemment en deux et deux, d'où des gamètes diploïdes et des zygotes tétraploïdes comme leurs parents.



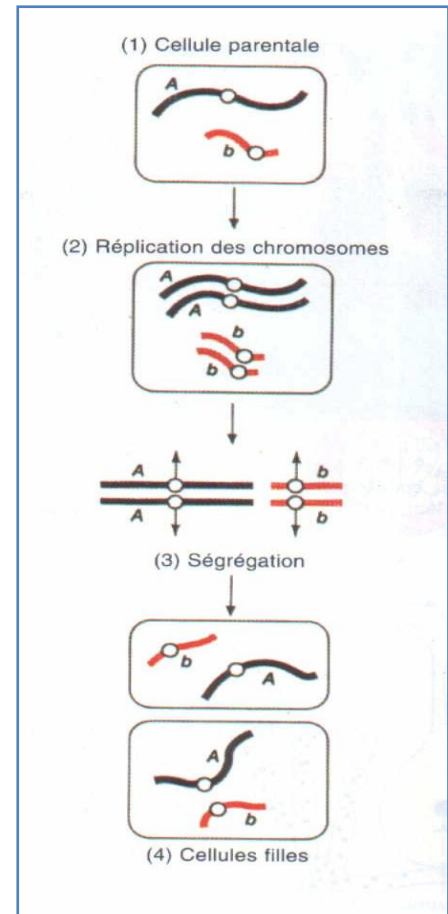
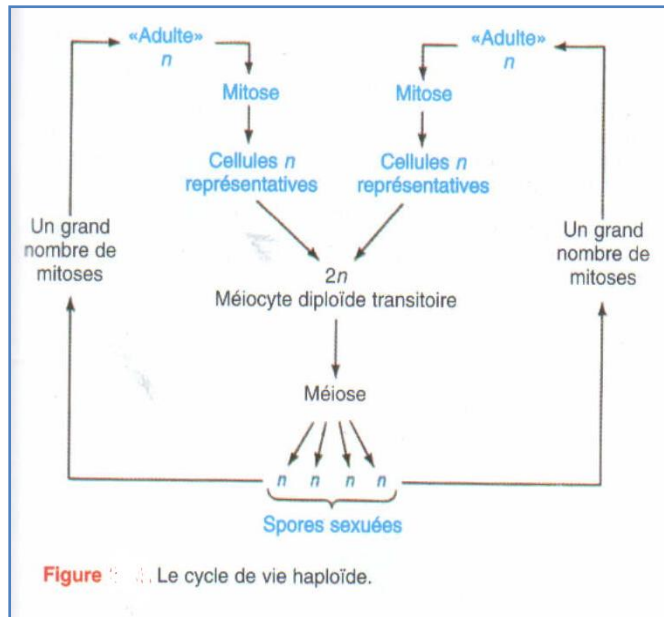


Fig. Mitose dans une cellule haploïde

Fig. La méiose dans une cellule diploïde

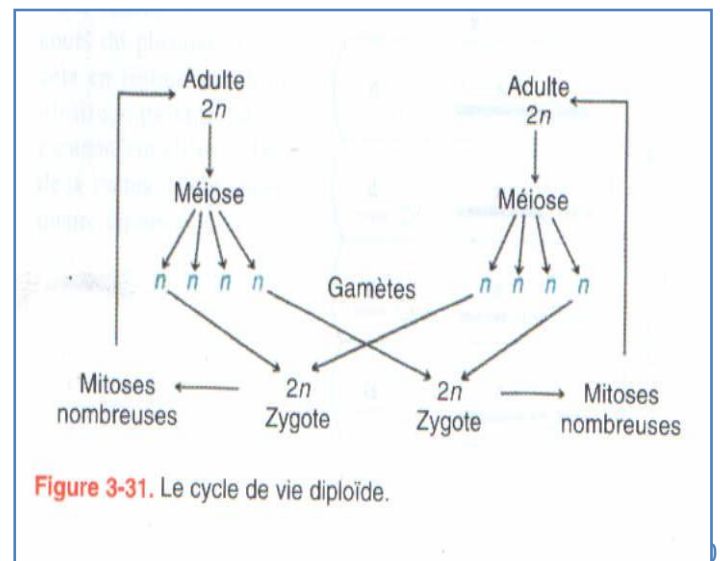
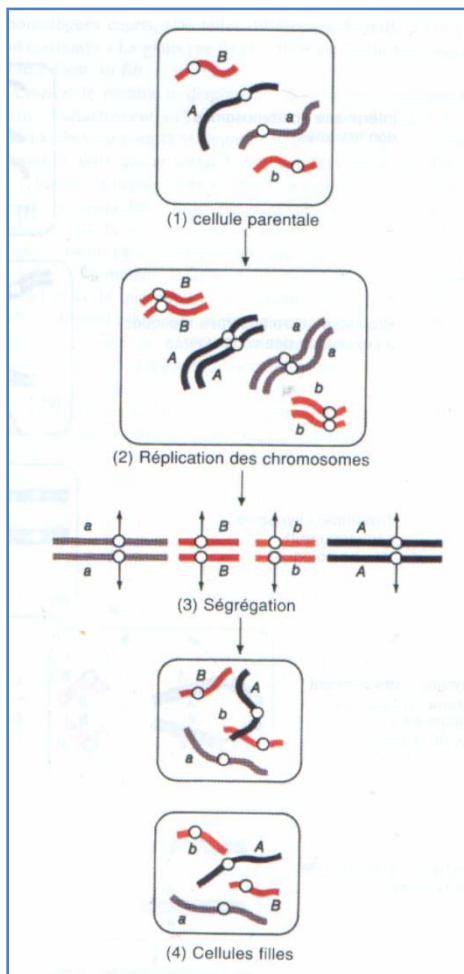


Figure 3-31. Le cycle de vie diploïde.

Ecotype

Au sein d'une espèce végétale, la notion d'écotype introduite par Turesson en 1922 englobe des formes plus ou moins distinctes morphologiquement et adaptées à des habitats différents. Bien que, d'un écotype à l'autre, cette adaptation se traduise par des solutions de continuité dans la variation, les écotypes d'une même espèce sont capables d'échanger des gènes. Par exemple, deux écotypes d'un plantain, le *Plantago coronopus*, occupant sur les côtes de la Manche des stations voisines sur sable ou sur marne, s'hybrident avec beaucoup de facilité.

Pour Turesson, un écotype est « le résultat de la réponse génotypique d'une écoespèce à un habitat particulier », une écoespèce étant, pour le même auteur, un ensemble de populations ou d'écotypes capables d'échanger leurs gènes sans perte de fertilité et de vigueur dans leur descendance. En revanche, ces populations ne peuvent s'hybrider avec d'autres groupes taxonomiquement très voisins, mais localisés à d'autres domaines ou stations.

La mise en évidence des écotypes doit tenir compte de l'accommodation, réaction non héréditaire concernant la plasticité phénotypique. Reconnaître, entre les individus de deux stations, des solutions de continuité dans la variation n'autorise pas à définir deux écotypes, cette discontinuité pouvant être en rapport avec l'influence de conditions stationnelles différentes sur un même génotype. C'est pourquoi il est obligatoire de cultiver expérimentalement côte à côte et dans des conditions identiques des individus prélevés dans les deux stations. Si l'on est en présence de deux écotypes, la discontinuité dans la variation est maintenue, malgré des différences avec les individus des populations naturelles par suite d'une accommodation aux conditions expérimentales. Au contraire, s'il ne s'agit que de deux accommodats, les solutions de continuité dans la variation disparaissent en culture. Tous les individus ont alors le même phénotype, quelle que soit leur origine.

Selon la nature des facteurs en cause dans la ségrégation des écotypes, on distingue des écotypes climatiques, édaphiques, biotiques et géographiques.

Quoique la notion d'écotype suppose une discontinuité spatiale dans la variation des populations, il peut arriver que cette variation soit continue. Gregor a mis en évidence, chez le *Plantago maritima*, une variation génotypique graduelle, tant à l'échelle géographique (selon des gradients climatiques), qu'à l'échelle locale (selon des gradients affectant certains caractères du substrat). Dans le cas d'une variation continue, on parle de cline et non plus d'écotype. En fait, la distinction est souvent très nuancée. Par exemple, des écotypes reconnus sur des gradients climatiques à partir de stations assez éloignées les unes des autres peuvent n'être que des stades d'une variation continue.

5. La diversité génétique dans le monde végétal

Chez les végétaux, il existe non seulement une abondante diversité des espèces, sauvages ou cultivées (=biodiversité), mais également de très nombreuses variantes entre les individus au sein d'une même espèce (=variabilité génétique). C'est cette diversité génétique, inter et intra espèces, qui constitue la matière première du sélectionneur pour créer de nouvelles variétés. De plus, par le travail de croisement et de recombinaison, il enrichit considérablement la variabilité génétique de chaque espèce. Ainsi, Maisadour Semences a lié plusieurs milliers d'hybrides et de ligées conservées dans sa banque de gènes.

L'ADN (acide désoxyribonucléique)

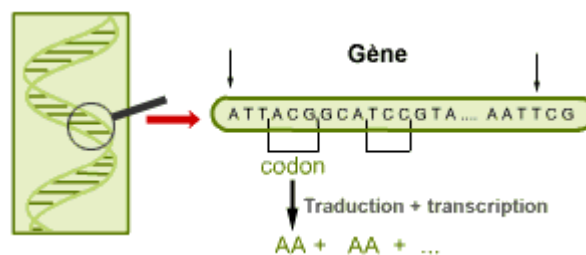
L'information génétique est rassemblée dans les chromosomes, constitués d'une molécule d'ADN très longue, compactée sur elle-même. Cette molécule d'ADN est composée de 2 "fils" ou brins complémentaires le long desquels se succèdent 4 composants chimiques ou bases nommées : Adénine, Thymine, Cytosine, Guanine.

Les 2 "fils" s'enroulent sur eux-mêmes en formant une double hélice et sont reliés par les liaisons chimiques qui se créent entre les bases. Ainsi, chaque base sur un des "fils" possède sa base complémentaire sur l'autre "fil" : A et T sont complémentaires, ainsi que C et G. Ces bases s'organisent 3 par 3, formant ainsi des mots de 3 lettres (ATG, CTG, GTG,...) appelés codons. La succession de codons forme un immense texte qui constitue le programme génétique.



Les gènes

Un gène est une portion de la molécule d'ADN. Il comporte de nombreux codons qui se succèdent selon un ordre précis, constituant une sorte de phrase ou séquence, délimitée par des signaux de début et de fin.



Chaque codon (ACG par exemple) correspond à un acide aminé ("AA"). La succession des codons d'un gène ordonne la fabrication d'un enchaînement d'acides aminés qui constituent une protéine. On dit "qu'une séquence code pour une protéine". Il existe au sein des gènes et entre les gènes des parties non codantes. Seules les parties codantes, à l'intérieur d'un gène, détiennent l'information pour la fabrication d'une protéine.

Les protéines

Assurant l'essentiel des fonctions de la cellule, elles jouent des rôles de structure (architecture de la cellule...) et de fonctionnement (hormones, enzymes, récepteurs...). Leur présence participe à l'élaboration des caractères d'un individu (la couleur de la fleur, la résistance à une maladie, la forme des feuilles...). Certains caractères sont gouvernés par un gène : ils sont monogéniques. D'autres par plusieurs gènes : ils sont polygéniques.

Au sein d'une même espèce, les individus possèdent tous le même ensemble de gènes, organisés selon un ordre particulier sur les chromosomes, le génome. Cependant, ces gènes présentent des variantes selon les individus, ce qui explique la grande diversité observée à l'intérieur d'une même espèce.



CHAPITRE 03 AMÉLIORATION ET CONSERVATION DU PATRIMOINE GÉNÉTIQUE CHEZ LES PLANTES



1. Présentation

L'Amélioration des plantes, se fait au niveau du patrimoine génétique des végétaux cultivés aux besoins de l'homme. L'amélioration poursuit à la fois un objectif de production, meilleurs rendements, plus grande résistance aux maladies et aux intempéries, mécanisation totale des cultures et des récoltes -et un objectif qualitatif : amélioration des qualités nutritionnelles et organoleptiques, et diversification des produits.

2. Les techniques d'amélioration végétale

2.1. Culture *in-vitro* :

La technique *in vitro* est un mode de multiplication végétative artificielle des plantes.

Il s'agit un ensemble de méthodes faisant intervenir d'une part l'asepsie (stérilisation du matériel, désinfection des explants) : et d'autre part des conditions de culture parfaitement contrôlées (milieux de culture définis pour chaque type de plante, température, lumière, humidité,...).

Ces méthodes s'appliquent des organes ou des fragments d'organes : les explants.

- graine immature, embryon,- ovule,- pollen,- bourgeon terminal,- bourgeon axillaire,- morceau de tige,- morceau de feuille,- de pétale de fleur, etc...

Avantages : La culture *in vitro* permet :

- * l'obtention de clones sélectionnés pour leur vigueur, leur caractères intéressants (Chrysanthème, Fraisier, Bananier), leur rareté (Orchidées) ;
- * l'assainissement des végétaux (plantes sans virus) : la Pomme de terre ;
- * la production rapide et en masse, à n'importe quel moment de l'année ;
- * le raccourcissement des cycles de développement ;
- * la diminution des coûts de production (peu de personnel) et des dépenses énergétiques (réduction des surfaces de culture et éclairage réduit) ;
- * la facilité de stockage et conservation (au froid) de millions de plantes sur de très petites surfaces, à l'état sain et à l'abri des contaminations ;
- * le rajeunissement d'un végétal ;
- * la production de substances biochimiques intéressantes pour l'industrie, les secteurs.

Problèmes :

LA VITRIFICATION

- * certains accidents, non prévisibles au départ, peuvent intervenir en cours de culture *in-vitro*, comme des malformations dues à un déséquilibre hormonal : la vitrification.

LA PERTE DE CARACTÈRES INTÉRESSANTS

- * la production répétée de grands nombres de plants uniformes (clones) peut entraîner la perte des gènes nécessaires, par exemple, à la résistance aux maladies nouvelles; il faut donc conserver les pieds mères et à certains moments, repasser par la reproduction sexuée.

PROBLÈMES INHÉRENTS À LA TECHNIQUE

- * l'asepsie des explants : la présence de micro-organismes, bactéries, champignons, virus, qui, s'ils ne sont pas totalement éliminés, contaminent la culture et tuent les jeunes plantules.
- * L'acclimatation : le passage à des conditions de culture normale est parfois délicat. En effet, durant son séjour *in vitro*, la plante est à l'abri des stress.
- * L'apparition d'anomalies génétiques (certains cas d'hyperfloraison, perte de sexualité chez certaines espèces, apparition d'organes anormaux) : c'est la variation somaclonale.

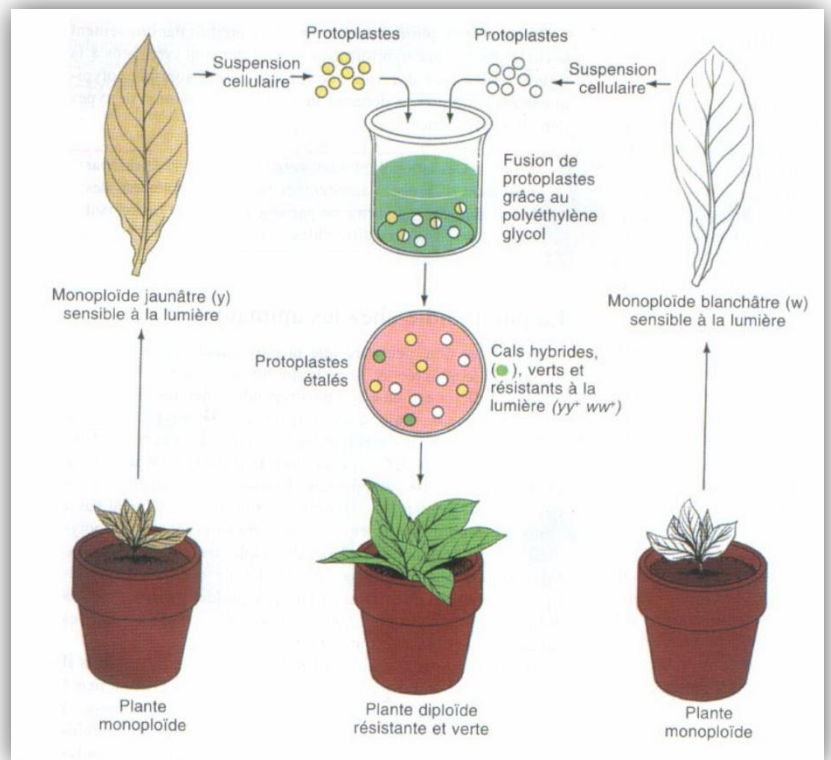
2.2. Fusion de protoplastes

Les cellules végétales ont la propriété d'être totipotentes, c'est-à-dire qu'elles sont capables de régénérer un individu complet à partir de n'importe quelle cellule de leur organisme. En laboratoire, cette propriété permet de propager des végétaux comme les orchidées ou les glaïeuls, sans avoir recours à la voie sexuée, en procédant par clonage. La culture de cellules aboutit d'abord à un « cal » (petit amas indifférencié), que l'on découpe en morceaux. Ceux-ci sont mis en culture avec des hormones végétales favorisant l'apparition de racines et de bourgeons, puis le petit végétal est planté en serre.

La fusion de protoplastes met à profit la propriété de totipotence, puis la technique de culture *in vitro*. La méthode consiste à prélever les cellules de jeunes feuilles, de cotylédons ou de jeunes racines et de les débarrasser, à l'aide d'enzymes, de leurs parois de pectine et de cellulose. Il devient alors possible de faire fusionner deux cellules de deux plantes totalement différentes, et de cultiver la cellule hybride résultante. Une des plus importantes victoires de cette technique a été l'introduction

d'un facteur de stérilité mâle du radis dans le colza. Cette technique est néanmoins limitée : après ce traitement, il arrive souvent que les cellules ne parviennent plus à se multiplier.

Fig. Exemple de technique de la fusion de



2.3. Doublement des chromosomes

Les hybrides dont les parents appartiennent à des espèces différentes sont généralement stériles, car les chromosomes des deux espèces sont différents et ne peuvent s'apparier chez l'hybride au moment de la méiose. Pour les rendre fertiles, on double artificiellement le nombre des chromosomes, afin que chacun ait un correspondant au moment de la méiose. On utilise généralement la *colchicine*².

Il arrive également que ce phénomène se produise dans la nature, par un processus de régulation spontané. Une grande proportion de plantes cultivées serait ainsi issue d'hybridations intraspécifiques suivies d'un doublement génétique naturel ayant

² La colchicine est un alcaloïde toxique s'extrait à partir des bulbes et les graines du colchique (*Colchicum autumnale*).

restauré la fertilité. La plupart de nos variétés actuelles de blé ou d'orge ont été obtenues ainsi.

2.4. Stérilité mâle

Pourquoi produire des plantes mâle stériles?

Dans les plantes hybrides, on peut exploiter l'effet d'hétérosis : l'hybride présente une qualité supérieure aux deux parents, par exemple un rendement ou une résistance accrue. La production d'hybride nécessite l'existence de plantes mâle stériles dans le cas d'espèces autogames.

Exemple du blé : sur la photo ci-contre, les plantes hybrides F1 sont entourées de leurs lignées parentales, femelle (à gauche) et mâle (à droite). L'hétérosis se traduit à la fois par une augmentation de rendement et par une luxuriance (plante plus grande).



Quels sont les facteurs de la mâle stérilité?

Facteurs climatiques,

Facteurs chimiques comme les gamétocides, très utilisés dans le cas du blé,

Facteurs génétiques : stérilité génique par mutation de gènes nucléaires.

Stérilité cytoplasmique, d'origine mitochondriale, dont le génome nucléaire permet ou non l'expression.

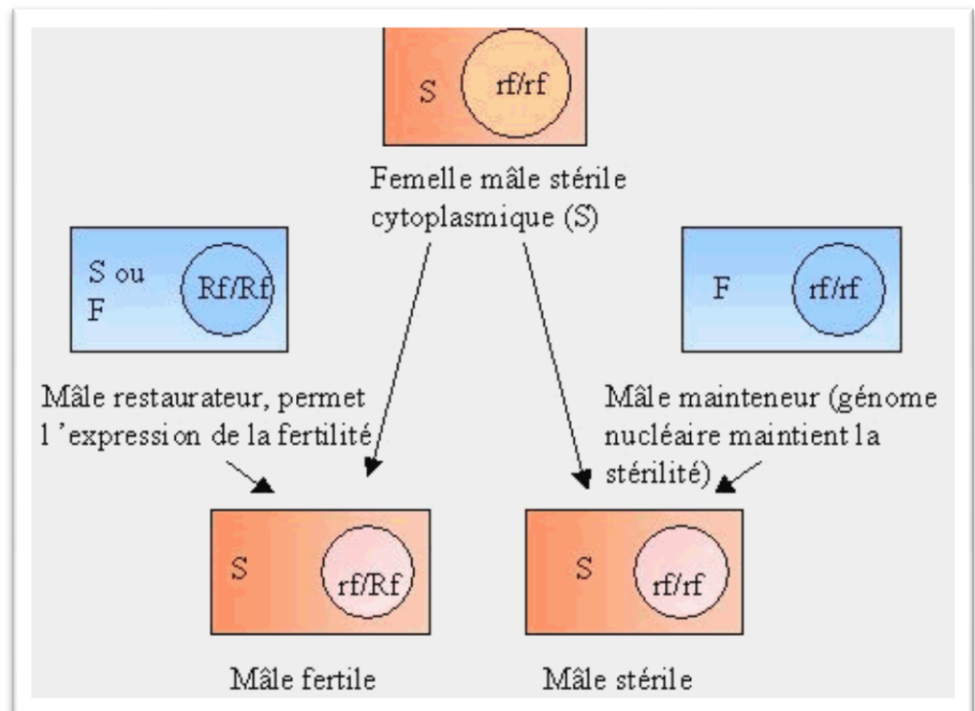


Fig. Mécanisme de la stérilité mâle cytoplasmique

Les origines de la stérilité mâle sont variées : elle peut apparaître spontanément, lors de multiplication ou lors de traitements mutagènes (rayons X...)

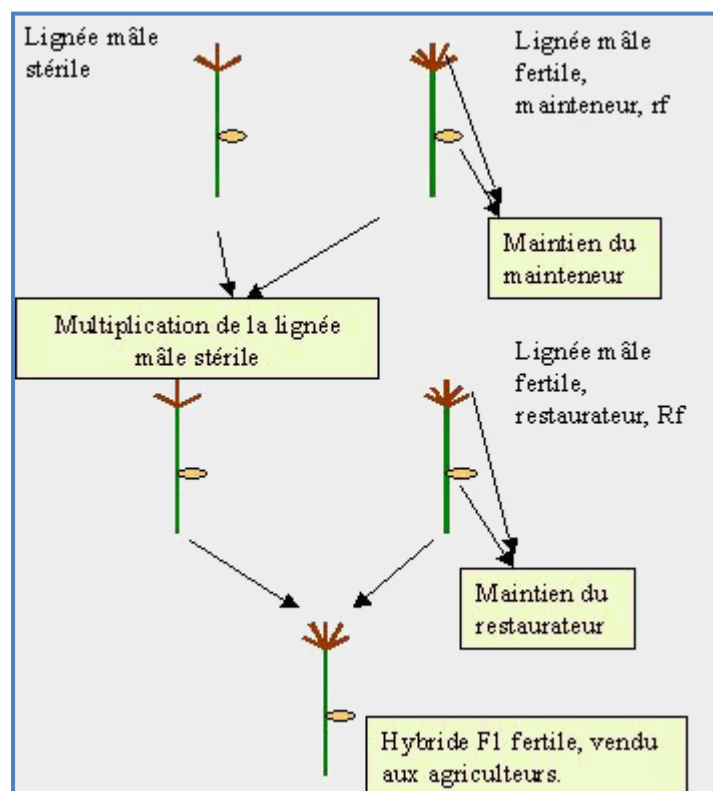
Comment produit-on des hybrides?

Sur le maïs, ces techniques sont utilisées à grande échelle. Sur le colza, la mâle stérilité a été obtenue par croisement avec un radis.

Quelles sont les limites de cette technique?

L'introduction de la mâle stérilité peut influencer sur d'autres caractères de la plante, la rendant par exemple moins intéressante d'un point de vue agronomique. Exemple du colza.

Le grain de pollen peut devenir moins sensible à la maturation, à cause de la



stérilité du tapis. Ainsi, la production peut varier selon les années.

La fertilité des hybrides F1 diminue avec les générations. C'est pourquoi les agriculteurs utilisant ces semences sont obligés d'en racheter chaque année aux semenciers. Est-ce un instrument pour lier l'agriculteur aux semenciers? Qu'en est-il de la liberté de l'agriculteur?

Quelles sont les perspectives?

L'utilisation de la mâle stérilité va certainement se développer dans l'avenir, soit par utilisation de gamétocides comme dans le cas du blé, soit en utilisant la stérilité mâle cytoplasmique comme dans le cas du maïs.

Il se peut que les mécanismes moléculaires de la stérilité mâle cytoplasmique, actuellement mal connus, puissent être accessibles bientôt.

Dans le cas des plantes autogames (blé, avoine, etc.), l'obtention de plants stériles pour leur côté mâle (anthères dégénérées, par exemple) permet de produire à l'échelle industrielle des plantes beaucoup plus performantes. Ces plantes partiellement stériles sont obtenues par croisement avec une autre population (elles sont donc hétérozygotes). Elles sont bien plus vigoureuses que les plantes homozygotes obtenues par le processus naturel d'autofécondation : c'est ce que l'on appelle la vigueur hybride. Ce sont des plantes dont la floraison est plus précoce, la croissance accélérée, la résistance aux maladies plus forte et le rendement meilleur à la récolte. L'intérêt de la stérilité réside dans le fait que ces plantes ne pourront s'autoféconder et donner des individus de vigueur moindre. Le seul inconvénient est que les agriculteurs sont obligés de racheter des graines tous les ans.

Les cas de stérilité mâle dont l'hérédité est cytoplasmique présentent un intérêt majeur à la fois pour l'amélioration des plantes et pour l'analyse de l'hérédité cytoplasmique : ils permettent, en effet, de réaliser des variétés hybrides (donc souvent très productives) chez des espèces où la biologie florale normale ne favorise pas la fécondation croisée ou rend fastidieuse la castration artificielle. Parmi de nombreux cas d'utilisation de cette stérilité, citons le maïs (bien qu'elle y pose quelques problèmes annexes), la betterave à sucre, le sorgho, le blé, les espèces potagères et florales (oignon, carotte, pétunia, etc.).

Un grand nombre d'arguments convergent pour localiser dans les mitochondries le site de cette stérilité (A. Bervillé, Y. Demarly). Une partie des mitochondries de ces plantes présenterait un défaut métabolique qui se traduirait par un dérèglement des bilans énergétiques (Y. Demarly).

On connaît des gènes nucléaires qui restaurent cette stérilité. On peut donc rendre fertiles - et ainsi obtenir un excellent rendement - des hybrides F1 (de blé, de maïs, de tournesol, etc.) obtenus en croisant une lignée mère à cytoplasme « mâle-stérile » par une lignée père sélectionnée pour sa forte aptitude à la combinaison avec cette lignée femelle et apportant les gènes de restauration de fertilité.

Les sélectionneurs ont cependant rencontré plusieurs obstacles dans l'utilisation de cette voie. D'une part, des caractéristiques défavorables semblent parfois liées au nouveau cytoplasme (baisse de rendement, sensibilité aux maladies, déficiences chlorophylliennes) ; d'autre part, la réunion dans un même champ de la lignée mâle

et de la lignée femelle (mâle-stérile) ne suffit pas pour obtenir en quantité la semence hybride ; il faut encore vaincre les difficultés d'un pollen mal transporté par le vent (pollens lourds du blé) ou de l'absence d'un insecte pollinisateur adapté (radis japonais, soja, etc.). Enfin, l'hybride produit manifeste une vigueur générale qui se traduit notamment par une taille élevée des plantes, mais cette caractéristique n'est pas toujours avantageuse (plantes florales, céréales qui versent facilement, etc.) ; il faut donc pouvoir associer chez l'hybride des gènes réducteurs de taille. Les meilleures réussites ont été obtenues avec le nanisme des blés, des sorghos, des mils. Par contre, l'analyse fine de l'évolution de ces cytoplasmes et de leurs interactions avec le noyau entraîne de nouvelles conceptions sur la régulation de l'expression génétique.

2.5. Organismes génétiquement modifiés [OGM] :

Les [OGM] sont des organismes vivants (bactéries, plantes ou animaux) dont le matériel génétique (génome) a été artificiellement modifié, le plus souvent pour contenir un nouveau gène.

La modification du génome créée en laboratoire est, de même que toute modification naturelle (mutation), transmise à la descendance en même temps et de la même façon que les autres gènes. Les séquences d'ADN modifiées confèrent à l'organisme des caractères nouveaux (par exemple la résistance à un herbicide), qui conditionnent les avantages comme les risques de l'utilisation des OGM.

Les seuls OGM disponibles sur le marché sont actuellement des plantes transgéniques. La transgénèse est dans ce cas utilisée comme une technique d'amélioration des plantes, obtenue de façon traditionnelle par sélection. Les espèces végétales peuvent ainsi être rendues résistantes à des herbicides (colza), à des parasites (maïs contenant une protéine toxique pour la pyrale, un papillon dont les larves consomment les tiges de la plante — voir lutte contre les parasites), à des virus spécifiques ou au gel. Des recherches portent également sur l'utilisation des OGM pour l'augmentation du rendement de certaines espèces végétales ou l'introduction de nouvelles qualités (couleur, forme), par exemple dans le cas où la variété à améliorer et la variété possédant les caractéristiques intéressantes sont impossibles à hybrider.

Transgénèse

Une technique, très récente, consiste à intégrer, en laboratoire, dans le génome des végétaux à améliorer, des gènes codant pour un caractère particulier, comme la résistance à un insecte, à un herbicide, à un virus, etc. Cette technique, dite de transgénèse, très rapide et précise, fait gagner énormément de temps, au moins pour l'acquisition de caractères simples. Pour ce qui est des caractères plus complexes comme la résistance au froid ou la sensibilité à la lumière, qui impliquent un jeu complexe de gènes, la sélection reste actuellement la seule solution.

On peut, en laboratoire, introduire artificiellement de nouveaux gènes dans des organismes vivants : c'est la transgénèse. Ces gènes vont ensuite *s'exprimer* dans

les cellules de l'organisme, c'est-à-dire qu'ils vont être transcrits en ARN, puis traduits en protéines, lesquelles sont généralement responsables de propriétés nouvelles. La transgénèse a donc pour but de modifier l'organisme concerné pour lui apporter de nouvelles caractéristiques intéressantes, comme la résistance à un parasite, à un virus ou à une bactérie (le plus souvent chez les plantes, mais aussi chez les animaux) ou à un herbicide ; elle peut également permettre de modifier la couleur d'une fleur ou d'un fruit, de provoquer une meilleure assimilation d'un nutriment donné, d'augmenter la productivité d'une espèce cultivée, ou encore de faire produire à un être vivant des protéines (hormone de croissance, par exemple) dans un but thérapeutique.

Les techniques utilisées pour la transgénèse appartiennent à celles du génie génétique. Elles diffèrent selon l'organisme que l'on cherche à modifier. Chez les bactéries, il est possible d'insérer des gènes par des méthodes de transformation (les bactéries sont placées dans un milieu contenant des fragments d'ADN porteurs du gène choisi ; ces derniers, peuvent, dans certaines conditions, traverser la paroi bactérienne). Chez les plantes, la technique la plus couramment utilisée est l'injection de gènes dans une cellule (grâce à une micropipette), ensuite mise en culture pour régénérer un plant adulte. Chez les animaux, l'ADN étranger est généralement injecté dans des cellules-œufs (zygotes) — celles-ci sont ensuite implantées chez des femelles porteuses pour la suite de leur développement.

Outre ces techniques fondées sur l'injection directe de matériel génétique, la transgénèse peut également utiliser des vecteurs, c'est-à-dire des organismes intermédiaires porteurs du gène. Ces vecteurs sont, en l'occurrence, des virus dont le génome est capable de s'incorporer dans celui de leur cellule-hôte (rétrovirus).



3. Préservation du Patrimoine génétique :

La préservation des patrimoines génétiques est nécessaire pour maintenir et améliorer la production agricole, et forestière, et pouvoir répondre aux besoins futurs des hommes, qui sont liés à des changements de l'environnement et des données économiques. La capacité d'altération de l'environnement par l'homme ne l'empêche pas d'y être soumis. La sagesse dicte donc la prudence. La préservation des biodiversités est aussi un principe moral qui a trait à l'extinction des espèces.

Il y a deux moyens de conserver la diversité génétique : *in situ*, l'espèce est préservée dans son écosystème (ce qui nécessite une préservation de l'écosystème lui-même) et *ex situ*, la plante, l'animal ou leur semence étant conservés dans un jardin, arboretum, zoo, élevage ou dans une "banque de gènes". La mesure préférable est la conservation *in situ*. Cependant, celle-ci n'est pas possible pour les espèces domestiques. Les espèces sauvages menacées doivent être conservées *ex situ* au cas où la conservation *in situ* échouerait.

Les plantes sauvages

CONSERVATION **IN SITU**

La conservation des plantes sauvages *in situ* passe pour l'instant par la mise en place d'espaces protégés, réserves naturelles, parcs nationaux ou régionaux... et se limite souvent à quelques milieux particuliers : zones de montagne, du littoral, zones humides... Ces actions se font en relation étroite avec les Conservatoires Botaniques Nationaux. Pour les régions tempérées où la flore est mieux connue, l'établissement des Livres rouges nationaux, listes de plantes menacées, d'atlas floristiques, d'inventaires des terrains sont un premier pas vers des actions en faveur d'une conservation des plantes.

Quelques espèces remarquables sont l'objet de mesures particulières. On peut citer par exemple le cas d'*Eryngium alpinum* L. ou chardon bleu des Alpes; ou celui de la tulipe de Savoie,... etc. En 1985, une étude fut réalisée par l'UICN et l'IBPGR (Conseil International des Ressources Phytogénétiques), sur la conservation *in situ* des espèces sauvages apparentées aux genres *Alium*, *Malus* et *Prunus* cultivés afin de déterminer la distribution de chacun de ces genres, et de leurs espèces dans la nature, leur présence dans les zones protégées, l'information écologique et en particulier les données sur la variabilité des populations. Cette étude a montré que, bien que la flore européenne soit l'une des mieux connues, les données sur la distribution locale des espèces ne sont pas toujours disponibles. Il est aussi apparu que l'on avait très peu d'informations écologiques sur ces espèces, que moins de 10 % des zones protégées étudiées pouvaient fournir des inventaires d'espèces¹ et qu'aucune donnée n'existait sur la variabilité des populations. Ainsi, même dans le cas où une espèce sauvage se trouve dans une zone protégée, sa protection n'est pas garantie dans la mesure où le mode de gestion de la zone peut être défavorable à la survie de cette espèce. Ceci met en évidence l'importance du travail qui reste à réaliser dans ce domaine, qu'il s'agisse de la préparation d'inventaires d'espèces pour toutes les zones protégées ou de l'étude écologique des espèces elles-mêmes.

Ex situ BANQUES DE "GENES"

Ex situ, la conservation des plantes se fait de deux façons :



Conservation d'organes en banque de "gènes" (graine, pollen), ou conservation sur pied, en champs. Ce dernier type étant surtout pratiqué pour les espèces se multipliant couramment de façon végétative par bulbe, rhizome, ou greffage, bouturage... Il est plus facile de conserver en champs une plante pérenne qu'une plante annuelle qu'il faut ressemer chaque année et qui, au moment de la floraison, est soumise à un remaniement génétique.

Les Jardins et Conservatoires Botaniques (plus de 1 500 à travers le monde) jouent un rôle primordial dans ce cadre : conservation de graines, multiplication de plantes. Ils contribuent à la connaissance de la flore et des milieux ; par leur savoir-faire dans la culture des plantes sauvages, ils peuvent permettre de réintroduire une espèce qui aurait disparu de son milieu. Historiquement, ils ont joué un grand rôle dans la diffusion de plantes exotiques. Aujourd'hui, ils sont fortement impliqués dans les programmes de sauvetage d'espèces menacées, comme par exemple le sauvetage de *Ramosmimia hacrophylla* (café marron), plante endémique de l'Île de Rodrigues, dans l'Océan Indien, ou celui d'*Hyophorbe amariccadis* dont le seul exemplaire connu est dans le Jardin Botanique de l'Île Maurice.



Conservation des graines « Une banque de gènes »

La conservation *ex situ* n'est pas naturelle ; elle engendre une dérive génétique du fait de la domestication. Mais malgré ces inconvénients, elle a souvent permis la survie d'une espèce. Elle permet des recherches sur la biologie de la reproduction et les conditions de culture de l'espèce qui peuvent être très utiles pour élaborer des stratégies de gestion *in situ* des populations restantes ou pour la réintroduction de spécimens dans la nature. La conservation *ex situ* doit toujours être considérée comme un complément de la conservation *in situ*.

Les moyens affectés à la conservation des plantes sauvages varient en fonction de l'intérêt qu'elles représentent pour les hommes. Ainsi, on dénote un intérêt supérieur pour les plantes sauvages apparentées aux plantes cultivées que pour les autres, pour les plantes à fleurs que pour les fougères, les mousses, ou même les champignons, les algues, les lichens... Pour ces derniers groupes, il n'existe pas de conservatoires spécialisés (si ce n'est pour les champignons et algues

microscopiques), or il semble qu'ils représentent un potentiel très important pour la pharmacie ou l'industrie.

Les plantes sauvages apparentées aux plantes cultivées

Comme nous l'avons vu, leur intérêt est considérable, aussi la plupart des moyens mis en place pour conserver la biodiversité les concernent-elles ; ou du moins concernent-elles les espèces sauvages, apparentées aux quelques 20 à 50 plantes d'intérêt économique majeur, les autres plantes n'étant que peu ou pas du tout étudiées.

Exemple de la conservation ex situ.



Continuant à évoluer dans la nature, les plantes sauvages sont soumises à des règles très différentes des plantes cultivées, ce *qui* conduit à la survie des formes les plus adaptées (résistance à la sécheresse, aux inondations, aux ravageurs ou aux maladies.. .) Même en conservation, la structure du matériel végétal peut évoluer dans le temps et dans l'espace. Cette évolution est différente selon les méthodes de conservation adoptées. Il faut donc que les dérives génétiques résultant de la conservation soient compatibles avec l'objectif de mettre en permanence à la disposition de l'améliorateur de plantes des ressources génétiques utiles à la réalisation de ses objectifs de sélection.

CONSERVATION IN SITU

Le meilleur moyen de conservation est la conservation *in situ* permettant aux plantes de poursuivre une évolution naturelle mais elle ne peut être appliquée que de façon limitée. Elle concerne surtout les régions de grande diversité génétique où l'on trouve une très grande variabilité des plantes apparentées aux plantes cultivées. On reconnaît pour chaque plante cultivée un ou plusieurs centres d'origine pouvant être plus ou moins étendus. Ainsi, l'ex-Union Soviétique avait établi des réserves dans le

Caucase pour protéger des formes sauvages de blé et d'arbres fruitiers et dans les Monts Kopet, à l'Est de la Mer Caspienne, pour les formes sauvages & pistachier, d'abricotier, d'amandier et pour des variétés sauvages de plantes fourragères. L'Inde a fondé le premier "sanctuaire de gènes" dans les collines Garo pour les formes sauvages d'agrumes et ses chercheurs prévoient d'en installer d'autres pour le bananier, la canne à sucre, le riz et le manguier. L'Éthiopie conserve depuis 1984 des caféiers sauvages dans des réserves.

Les exemples concernant les plantes sont assez rares, car la plupart des zones protégées ont été établies pour la conservation de la faune sauvage, ou pour protéger un paysage ou un milieu dans son ensemble mais rarement pour conserver une plante sauvage. Ces zones protégées existantes représentent une bonne base de départ (conservation des écosystèmes) mais c'est un heureux hasard, si elles contiennent une population de plantes sauvages apparentées à une espèce cultivée; de plus, la protection d'une zone ne protège pas nécessairement la diversité génétique d'une population. Les plantes sauvages apparentées méritent une approche spécifique.

Le modèle génétique des populations qui sont conservées dans des réserves est celui d'isolats biogéographiques, l'isolement et la sélection étant les principaux facteurs modifiant les fréquences géniques et la structure des populations naturelles. Or les données concernant la dynamique, la taille et la répartition géographique de telles réserves manquent. De plus, chaque espèce étant un cas particulier, on ne peut établir de modèle général.

CONSERVATION EX SITU

La conservation *ex situ* est un bon complément à la conservation *in situ*:

Graines, plantes ou parties de plantes, pollen, tissus... sont conservés dans un environnement artificiel. Bien que le stockage soit possible à long terme, il n'est pas indéfini : les plantes cultivées doivent être ressemées ou multipliées végétativement lorsqu'elles vieillissent, les graines et les tissus doivent périodiquement être régénérés sous forme de plantes entières, produisant de nouvelles graines ou tissus pour la conservation. Mais chaque régénération peut être l'occasion de dérive génétique. Des méthodes sont à l'étude (conservation *in vitro* ou dans l'azote liquide) pour diminuer les coûts de conservation et allonger l'intervalle entre chaque régénération. Seuls les parents sauvages de quelques plantes cultivées comme le blé, la pomme de terre et la tomate ont été largement collectés et conservés dans des banques de graines. Dans la plupart des cas, le matériel génétique sauvage représente moins de 2 % des collections des banques de graines pour chaque plante cultivée, et la plupart des parents sauvages de plantes cultivées ne poussent bien que dans la nature. L'IBPGR tente d'orienter les efforts dans le monde pour les collecter et les conserver.

Les plantes cultivées

Des variétés modernes à haut rendement, répondant aux exigences du marché, ont remplacé peu à peu les variétés traditionnelles. Ces dernières peuvent toutefois présenter un grand intérêt pour le sélectionneur, pour l'amateur (rusticité, bonne adaptation à une région) ou pour une communauté (intérêt culturelle..). Elles méritent donc d'être conservées.

La prospection de terrain permet de déceler et localiser du matériel végétal existant encore. Les stratégies adoptées sont différentes en fonction des espèces, des lieux, des structures... Comme pour les parents sauvages des plantes cultivées, il faut

aborder différents domaines : La génétique, l'agronomie, la phytopathologie, la zoologie, l'ethnologie...

La conservation *In situ* des variétés locales est très délicate à mettre en œuvre car celles-ci n'ont plus leur place dans les exploitations modernes.

Pour les cultures annuelles ou bisannuelles se pose le problème de la dérive génétique lors de la multiplication ; celle-ci doit se faire en isolement, ce qui est rarement le cas. Pour celles-ci, la conservation en banque de "gènes" est nécessaire.

Dans les pays en voie de développement, il faut s'attendre à une disparition accélérée des variétés de pays comme cela s'est produit en Europe avant 1950, et pour les mêmes raisons. Des mesures de conservation *in situ* et *ex situ* sont prises avant qu'il ne soit trop tard : contrat avec des agriculteurs, mise en banque de gènes, introduction dans les collections de travail... "La conservation à long terme des variétés traditionnelles de pays dans leur écosystème n'étant pas compatible, à terme, avec une agriculture moderne ne pourrait-elle pas être simulée dans des zones agricoles et des stations agronomiques sous contrôle scientifique. Il y a dans ce domaine des recherches nouvelles à entreprendre pour mettre au point une méthode de conservation dynamique des ressources génétiques.

LES DIFFICULTES ET PROBLEMES A RESOUDRE :

Les problèmes posés par la conservation du patrimoine génétique sont d'une grande variété et nombre d'entre eux sont loin d'être résolus.

Nous citerons par exemple:

- l'échantillonnage de populations représentatif de la diversité génétique,
- le maintien des semences dans des conditions de vie sur le moyen et long terme,
- l'élevage, le lever de la dormance,
- la reproduction, la multiplication,
- l'évaluation génétique des ressources,
- la valeur relative des évaluations agronomiques (ces valeurs n'ont aucune signification universelle; dans chaque zone écologique, il n'est possible de consigner des observations valables que pour quelques centaines d'échantillons au plus,
- la gestion et l'analyse de l'information,
- la fidélité et la fiabilité de la conservation (dérive génétique, altération consécutive au stockage, diminution progressive du taux de germination...),
- la stabilité génétique des graines stockées (accroissement de la fréquence des aberrations génétiques...),
- le volume de l'information à gérer (c'est plusieurs millions de données qu'il faut stocker dans les fichiers, numéroter correctement de façon que chacune puisse être connue, et éventuellement modifiée par des mises à jour ; et rendue accessible dans délais compatibles avec une utilisation fréquente et diverse),

- la gestion informatique nécessitant la mise au point de méthodes et de programmes de gestion des bases de données adaptés aux besoins spécifiques.

Conclusion

La conservation *in situ* et *ex situ* sont des moyens complémentaires pour assurer la conservation du patrimoine génétique biologique.

La conservation *ex situ* est insuffisante et ne permet pas de conserver à long terme l'ensemble de la diversité génétique. Elle est nécessaire pour mieux connaître, valoriser et utiliser cette diversité d'une part, et pour sauver les espèces menacées quand la conservation *in situ* est aléatoire ou impossible d'autre part. C'est le dernier recours, la « clinique de réanimation » pour essayer de sauver les espèces menacées. C'est une médecine curative qui n'est pas applicable, pour des raisons économiques et techniques, à l'ensemble des êtres vivants.

La conservation *in situ* est préférable, c'est la seule garantissant le maintien de la biodiversité. Elle est surtout assurée par les espaces protégés. Elle implique des modes de *gestion* adaptés à l'objet de la conservation et ne peut se limiter à la simple mise en réserve passive. Elle dépend des pratiques et usages de l'espace par l'homme.

4. Patrimoine génétique des arbres forestiers (comme exemple)

Le connaître, le préserver, le valoriser

Une variabilité génétique des arbres forestiers très importante

Chaque espèce d'arbres forestiers est définie par un groupe de caractéristiques communes. Autour de ce "type", on observe une multitude de variantes. Certaines de ces variantes s'expriment sous la forme de caractères visibles comme la croissance, la forme du fût, la branchaison, la densité du bois, la phénologie, etc. D'autres sont plus discrètes comme la composition de la résine ou la géométrie des molécules enzymatiques des cellules. Elles trouvent toutes leur origine au niveau le plus élémentaire, celui du gène. Dans le règne végétal, les arbres forestiers présentent la particularité de posséder une variabilité génétique très élevée. Celle-ci est généralement interprétée comme une adaptation à la grande longévité : seuls peuvent survivre plusieurs siècles, et faire face à de très nombreux aléas, les organismes et populations possédant un patrimoine génétique diversifié.

Deux arbres, ou groupes d'arbres, peuvent différer par des caractères très variés. Certains, comme la tardivité du débourrement ou la résistance au froid, commandent l'adaptation au milieu : ils permettent souvent de caractériser des populations entières.

D'autres n'apportent semble-t-il aucun avantage particulier : dits neutres, ils sont en général très variables d'un individu à l'autre au sein du même peuplement.

Tous sont utiles pour évaluer la diversité génétique d'une espèce donnée.

Cette importante variabilité des arbres forestiers n'a encore été, dans la plupart des cas, que très peu altérée par l'homme, au contraire de la plupart des plantes

cultivées. Nos espèces forestières sont encore " sauvages ". Cette réserve intacte est pour les forestiers à la fois une chance et une responsabilité.

Préserver

Permettant d'affronter les modifications de l'environnement, la diversité génétique est une assurance face à l'avenir : le gestionnaire avisé évitera donc de la réduire.

En danger dans leur station d'origine, certaines populations ne peuvent être préservées que dans un autre lieu, on dit ex-situ, par exemple sous forme de lots de graines ou encore dans des parcs à clones. Lorsque le patrimoine génétique est maintenu identique à lui-même, on parle de conservation statique. En France, seul un tout petit nombre de populations forestières, heureusement, relève de telles actions : orme, peuplier noir.

La très grande majorité des populations forestières doit donc être préservée in-situ, en restant confrontée à la pression de sélection naturelle, c'est-à-dire en conservation dynamique. Ayant la responsabilité de préserver le patrimoine génétique dont il dispose, le gestionnaire forestier respectera quelques règles simples : proscrire les transferts de matériel provenant de régions écologiquement différentes, réaliser les régénérations naturelles à l'aide d'effectifs suffisants de semenciers, ne pas effectuer de sélection à rebours par "écrémage", accorder une place suffisante aux espèces secondaires.

A la suite des conférences de Strasbourg et d'Helsinki, la France a commencé l'installation de réseaux de conservation in-situ pour le hêtre et le sapin pectiné : 26 et 18 peuplements respectivement, tous situés en forêt gérée par l'ONF. Cette politique s'étendra prochainement aux autres essences sociales, à commencer par les chênes et l'épicéa. Des actions spécifiques sont de surcroît en préparation pour les fruitiers disséminés : merisier (CEMAGREF), alisiers (ONF- Conservatoire génétique forestier d'Orléans) et cormier (INRA).

Valoriser

Le processus d'amélioration des arbres forestiers commence par le repérage de populations, les provenances, parfaitement adaptées à la région concernée. C'est la démarche qui fut adoptée pour les principales essences sociales autochtones lors de la mise en place de la réglementation issue de la loi de 1971, avec l'exigence supplémentaire d'une croissance au moins moyenne et d'une morphologie satisfaisante.

Les graines issues des peuplements classés couvrent aujourd'hui de 80% à 100% de nos besoins en semences des espèces concernées. On ne peut que se réjouir de voir ce système qui a fait ses preuves s'étendre à de nouvelles espèces. On remarquera que l'amélioration procurée par la certitude d'une bonne adaptation et par la mise à l'écart des peuplements de mauvaise forme s'accompagne d'effets bénéfiques du point de vue de la préservation du patrimoine génétique :

- assez étendus, les peuplements classés renferment une grande variabilité
- du fait des aléas de la fructification en forêt, les semences sont récoltées sur des peuplements différents selon les années

- les transferts entre régions écologiquement différentes peuvent être évités.

L'étape suivante consiste à valoriser la variabilité individuelle. La plupart des caractères qui concourent à la valeur d'un peuplement forestier sont sous le contrôle des gènes et offrent donc prise à la sélection. Dans certains genres (*Populus*, *Larix*), l'hybridation débouche sur des produits d'une vigueur exceptionnelle et réunissant les caractéristiques favorables séparées dans les espèces parentes. Les améliorateurs forestiers de l'INRA ont ainsi créé des variétés améliorées des principales espèces résineuses nettement plus performantes que le matériel sauvage. Les premières de ces variétés, issues des vergers à graines mis en place par le CEMAGREF et l'ONF, possèdent une base génétique très large, gage d'une bonne faculté d'adaptation. Elles permettront l'installation de reboisements performants produisant du bois de qualité. Bien entendu, des précautions seront prises pour éviter que les boisements effectués avec des variétés sélectionnées ne réduisent la diversité génétique des peuplements autochtones des mêmes espèces.



Conclusion générale

Les techniques de transformation génétique sont des moyens d'agir sur le facteur de temps, puisqu'il est possible d'introduire dans un génome un gène sans altérer pour autant l'expression des autres gènes. L'ensemble des opérations de la transfection (incorporation d'un patrimoine génétique étranger par un processus non infectieux) à la régénération de plantes à partir des cellules transformées pour être réalisées au moins d'une année, lorsqu'il n'y a pas de mise au point technique particulière à effectuer. L'apport de la biologie moléculaire est qu'en l'espace de quelques années, il est devenu possible de donner une interprétation moléculaire aux phénomènes biologiques : la structure de l'information génétique, ainsi que le mode de régulation des gènes peuvent dorénavant être étudiés. La compréhension des phénomènes d'interaction cellulaire est abordée non seulement entre cellules d'un même organisme, mais aussi entre cellules d'organismes différents ; des médiateurs chimiques, protéiques ou non, sont mis en évidence. Et lorsque nous sommes dans un milieu steppique qui a la face des plusieurs problèmes et des risques comme la désertification, nous sommes responsables de protéger ce milieu par plusieurs aspects, parmi ces aspects la combinaison entre la production animale et la production végétale, c'est à dire, lorsqu'on fait l'élevage des animaux, donc soit pour produire la viande (engraissement), soit pour la production du lait, alors dans tous les cas on a besoin de la matière végétale en quantité et en qualité et pour cela on a une intervention d'amélioration végétale, si on dit ça non seulement l'agriculture maraîchère, ou autre, mais on dirige la culture fourragère pour satisfaire nos besoins. Dans l'étranger des tests d'appétibilité en pâture des moutons, et autre pour les auges, c'est pour déterminer le potentiel de matière sèche, l'ingestibilité et la digestibilité, la productivité, et en utilisant toutes les techniques de conservation d'alimentation comme l'ensilage. La superficie des parcours steppiques est de 20 millions d'hectares dont 12 millions sont pâturables., on a le problème d'exploitation des parcours intensifs sans restitution (capacité de production < des animaux) (5 millions d'hectares sont dégradés) dont l'Alfa est de 2.6 millions d'hectares, l'Armoise blanche de 4.1 % (productivité faible) : 90 UF/ha/an, Le sparte: 4.07% : 75 UF/ha/an, les plantes halophiles plus les fourrages : 3.5%. On observe que ces chiffres sont

très faible , HCDS a essayé d'augmenter la productivité avec la plantation en utilisant la mise en défend , mais ça pas satisfaisant car la pensée du l'éleveur c'est le même problème (surpâturage) , c'est pour ça on demande les grands responsables de participer entre eux pour faire les techniques précédentes au mois la culture in vitro dans notre région en plus de ça elle est réussite ave Melle MESSOUDI houda 2004.2005 qui fait la culture in vitro *d'Atriplex halamus*. Tous ces efforts pour un parcours steppique bien protéger contre les risques surtout la désertification.



Bibliographie

Introduction à l'analyse génétique. GRIFFITHS. MILLER... Traduction de la 6^{ème} édition par Raymond Cunin, Nicolas Glansdorff... 1997.

La Biodiversité et la préservation du Patrimoine génétique. THOME II, par L'Office Parlementaire D'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques. 1992.

Encyclopédie Universalis v 10 (2005).

Petit glossaire OGM - Quelques définitions (INRA) Institut National de la Recherche Agronomique 2000.

Sites WEB

www.inapg.fr/ens_rech/bio/biotech

<http://fr.wikipedia.org/wiki>

<http://www.inra.fr>

<http://www.univ-ubs.fr/ecologie/patgenetic.html>

